

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем

«На правах рукопису»

УДК 621.337.49

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 Сергій ЖУК

« » 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Радіотехнічні інформаційні технології»

зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Контролер системи управління двигуном електричного скутера з
передаванням інформації на смартфон»**

Виконав :

студент II курсу, групи РТ-91мп

Демченко Сергій Олегович

Керівник:

Ст.викладач, к.т.н.

Вишневий Сергій Валерійович

Рецензент:

Доцент, к.т.н.

Шульга Аліна Вікторівна

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіотехнічні інформаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

« 2 » вересня 2020р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Демченку Сергію Олеговичу

1. Тема дисертації «Контролер системи управління двигуном електричного скутера з передаванням інформації на смартфон», науковий керівник дисертації Вишневий Сергій Валерійович, к.т.н., доц.,

затверджені наказом по університету від « 05 » листопада 2020 р. № 3223-с _____

2. Термін подання студентом дисертації 12.12.2020 _____

3. Об'єкт дослідження Контролер для управління безколекторним електродвигуном постійного струму з датчиками Холла що потребує вдосконалення _____

4. Вихідні дані є конструкція та характеристики контролера двигуна електричного скутера _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

- Впровадити контролер, який використовує передові методи безщіткового управління двигуном, на недорогих апаратних засобах, невеликими розмірами та вартістю порівнянно з аналогами. _____

- Виділіть процес проектування контролера двигуна, включаючи вибір компонентів та аналіз, щоб продемонструвати, що його можна легко зробити власноруч.

- Інтегрувати збір даних у контролер, щоб допомогти у розробці та оцінці сам контролер, двигун та систему.

- Впровадити бездротовий метод відстежування даних про систему.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу мультимедійна презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій IX Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи"

8. Дата видачі завдання 2 вересня 2020р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз джерел інформації	02.09.2020	
2	Аналіз існуючих аналогів та рішень	17.09.2020	
3	Дослідження можливих шляхів покращення контролерів	30.09.2020	
4	Розробка структурної та електричної схеми	13.10.2020	
5	Конструкторські розрахунки та розробка лістинга програми	01.11.2020	
6	Розробка стартап-проекту, для можливого представлення на ринку	16.11.2020	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини проекту	30.11.200	

Студент

Сергій Демченко

Науковий керівник

Сергій Вишневий

Реферат

Магістерська дисертація на тему «Контролер системи управління двигуном електричного скутера з передаванням інформації на смартфон» містить: 88 сторінок, 42 рисунка, 19 таблиць та 3 додатки.

Актуальність теми: Тема, що розкривається в дослідженні, є дуже актуальною у зв'язку з швидким розповсюдженням електротранспорту в житті людини. Значне збільшення потреб населення в коротких подорожах по місту за останні роки на планеті призвело до швидкого збільшення кількості різних видів електротранспорту. Для кожного електродвигуна потрібен контролер. Розробці та вдосконаленню параметрів контролерів і присвячена дана дисертація.

Робота пов'язана з науковими програмами кафедри .

Метою є розширення функціоналу, спрощення та здешевлення контролера для двигуна електричного скутера.

Завдання дослідження :

1. Впровадити контролер, який використовує передові методи безщіткового управління двигуном, на недорогих апаратних засобах, невеликими розмірами та вартістю порівняно з аналогами.

2. Виділити процес проектування контролера двигуна, включаючи вибір компонентів та аналіз, щоб продемонструвати, що його можна легко зробити власноруч.

3. Інтегрувати збір даних у контролер, щоб допомогти у розробці та оцінці сам контролер, двигун та систему.

4. Впровадити бездротовий метод відстеження даних про систему.

Об'єктом дослідження є контролер для управління безколекторним електродвигуном постійного струму з датчиками Холла що потребує вдосконалення

Предмет дослідження є конструкція та характеристики пристрою

Методи дослідження: Теоретичний розрахунок та експериментальні дослідження параметрів макету пристрою

Наукова новизна одержаних результатів полягає в пропозиції нової конструкторської концепції контролера, підвищення її надійності, ефективності, а також розширення функціоналу за рахунок бездротової передачі інформації.

Практичне значення одержаних результатів. Можна застосувати для управління безколекторним двигуном не лише на електротранспорті, а і в будь-якій галузі де використовується такий тип електродвигуна.

Публікації. IX Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи" 2020 - Секція 4. Електроніка, нанотехнології, біомедичні системи, радіовимірювання. "Розробка контролера для управління двигуном електричного скутера з передачею інформації на смартфон".

Ключові слова: Контролер, BLDC, електродвигун, датчики, ШІМ, бездротовий зв'язок, смартфон, MOSFET.

Abstract

The master's dissertation on the theme "Controller of the electric scooter engine control system with information transfer to a smartphone" contains: 89 pages, 42 figures, 19 tables and 3 appendices.

Relevance of the topic: The topic revealed in the study is very relevant due to the rapid spread of electric vehicles in human life. The significant increase in the needs of the population in short trips around the city in recent years on the planet has led to a rapid increase in the number of different types of electric vehicles. A controller is required for each motor. This dissertation is devoted to the development and improvement of controller parameters.

The work is related to the scientific programs of the department.

The goal is to expand the functionality, simplify and reduce the cost of the controller for the engine of an electric scooter.

Objectives of the study :

1. Implement a controller that uses advanced brushless motor control methods on inexpensive hardware, small size and cost compared to analogues.
2. Highlight the engine controller design process, including component selection and analysis, to demonstrate that it can be easily done by hand.
3. Integrate data collection into the controller to assist in the development and evaluation of the controller itself, the engine and the system.
4. Introduce a wireless method of tracking system data.

The object of the study is a controller for controlling a collectorless DC motor with Hall sensors that needs improvement

The subject of research is the design and characteristics of the device

Research methods: Theoretical calculation and experimental studies of device layout parameters

The scientific novelty of the obtained results lies in the proposal of a new design concept of the controller, increasing its reliability, efficiency, as well as expanding the functionality through wireless transmission of information.

The practical significance of the obtained results. It can be used to control a brushless motor not only on electric vehicles, but also in any industry where this type of electric motor is used.

Publications. IX International Scientific and Technical Conference "Radio fields, signals, devices and systems" 2020 - Section 4. Electronics, nanotechnology, biomedical systems, radio measurements. "Development of a controller for controlling the engine of an electric scooter with the transfer of information to a smartphone".

Keywords: Controller, BLDC, electric motor, sensors, PWM, wireless communication, smartphone, MOSFET.

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
1 БЕЗКОЛЕКТОРНІ ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	14
1.1 Внутрішня будова безколекторного двигуна.....	14
1.2 Схеми з'єднань обмоток BLDCM.....	17
1.3 Двигуни з датчики положення та без датчиків.....	19
2 АНАЛІЗ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СКУТЕРА.....	22
2.1 Принцип роботи контролера.....	22
2.2 Метод управління двигуном з датчиками положення ротора.....	22
2.2.1 Датчик ефекту Холла.....	23
2.2.2 Принцип роботи датчика ефекту Холла в двигуні BLDC.....	25
2.2.3 Переваги та недоліки використання датчика ефекту Холла в контролері двигуна BLDC.....	25
2.3 Метод управління електродвигуном без датчика.....	26
2.3.1 Процес зчитування швидкості обертання двигуна без датчиків.....	27
2.3.2 Переваги та недоліки використання методу без датчиків.	29
2.4 Функції які виконує контролер швидкості.....	30
2.5 Аналіз існуючих на ринку аналогів....	31
2.5.1 Контролер системи управління безщіточним мотором QS-909.....	33
2.5.2 Контролер системи управління безщіточним мотором GREENTIME 36.....	34
2.5.3 Контролер системи управління безщіточним мотором Kelly KLS7212S.....	35
2.5.4 Контролер системи управління безщіточним мотором SCLS 4812S.....	37
2.5.5 Розроблюваний контролер системи управління двигуном електричного скутера.....	39

3 СТРУКТУРНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМИ КОНТРОЛЕРА ДВИГУНА СКУТЕРА.....	43
3.1 Структурна схема регулятора швидкості безколекторного двигуна.....	43
3.1.1 Модуль контролера.....	44
3.1.2 Модуль керування силовими ключами.....	46
3.1.3 Модуль датчиків.....	48
3.1.4 Захист	49
3.2 Вибір елементної бази для контролера.....	50
3.2.1 Апаратна платформа	50
3.2.2 Вибір світлодіодів	52
3.2.3 Вибір силового ключа.....	54
3.2.4 Модуль передачі інформації на смартфон	57
3.2.5 Вибір потенціометра	58
3.2.6 Понижувач напруги	59
3.2.7 Вибір драйверів ключів.....	60
4 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	62
4.1 Конструювання друкованої плати контролера електроскутера.....	62
4.1.1 Розрахунок площі плати та розмірів.....	62
4.1.2 Розрахунок топології плати.....	64
4.1.3 Розрахунок ширини провідників друкованого монтажу.....	65
4.1.4 Розрахунок зазорів між елементами друкованого монтажу.....	67
4.1.5 Трасування друкованих плат в середовищі Altium Designer.....	67
4.2 Розрахунки, що підтверджують працездатність.....	68
4.3 Збір та аналіз даних в реальному часі.....	69

4.3.1 Інтегрований збір даних	70
4.3.2 Візуалізація та аналіз даних.....	72
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	76
5.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)	76
5.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї чим відрізняється від існуючих аналогів та заміників порівняно із пропозиціями конкурентів.....	76
5.3 Технологічний аудит ідеї проекту	80
5.4 Розроблення маркетингової програми	81
ВИСНОВКИ.....	86
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87
Додатки.....	89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕРС- Електрорушійна сила;

PMSM - Permanent Magnet Synchronous Motor - Синхронний двигун з постійним магнітом;

BLDCM - Brushless Direct Current Motor- безщітковий двигун постійного струму;

МК-мотор-колесо;

ШИМ — широтно-імпульсна модуляція;

АЦП — аналогово-цифровий перетворювач;

ЦС-цифровий сигнал;

EMF- electromotive force- електрорушійна сила;

LCD- liquid crystal display- Рідкокристалічний дисплей;

АЦП- аналого оцифровий перетворювач;

TX - Transmitter -передавач;

RX - Receiver-приймач;

MOSFET/ МОП -metal oxide semiconductor field effect transistor;

ДП — друкована плата;

ПК- Персональний комп'ютер;

USB- Universal Serial Bus- універсальна послідовна шина;

ОС-операційна система;

Вступ

Життя людей характеризується виникненням великого числа різних переміщень по місту. Значне збільшення потреб населення за останні роки на планеті призвело до швидкого збільшення кількості різних видів електротранспорту. В останні роки все більше популярність набувають електродвигуни трифазні безщіточні з датчиками Холла та без. Варто зазначити, що застосування подібних трифазних двигунів досить широко: побутова техніка, оргтехніка, електротранспорт, промисловість. Проте для запуску мотор-колес, регулювання швидкості їх обертання, і забезпечення контрольованої зупинки застосовуються пристрої, які називаються контролерами.

Контролер - це електронний пристрій, що відповідає за роботу електродвигуна і управляє ним, одна з головних складових частин безперебійної роботи.

Управління двигуном - це як таємна зброя в конструкції двигуна. Величезне поліпшення продуктивності та ефективності можна досягти, просто впровадивши кращий контроль, без зміни будь-яких фізичних параметрів двигуна або системи, яку він приводить в рух. Розуміння управління двигуном, є критично важливим при розробці рівня системи. Витрати на розробку та для вдосконалення управління двигуном часто набагато нижчі, ніж розробка нових двигунів. Це може бути визначальним фактором у проектних рішеннях на рівні системи. Це значно дешевше, ніж заміна двигунів новітніми, більш ефективними моделями.

Однією з цілей цього дослідження було продемонструвати вдосконалене безщіткове управління двигуном за низькою вартістю апаратного забезпечення. Для цього потрібна як апаратна, так і програмна оптимізація.

Буде висвітлено процес проектування самого контролера так як, внутрішнє проектування контролера є більш практичне, ніж прототипування двигуна, оскільки ресурси для проектування друкованих плат є доступнішими.

Таким чином, цілями цього проектного дослідження є:

1. Впровадити контролер, який використовує передові методи безщіткового управління двигуном, на недорогих апаратних засобах, невеликими розмірами та вартістю порівнянно з аналогами.
2. Інтегрувати збір даних у контролер, щоб допомогти у розробці та оцінці сам контролер, двигун та систему.
3. Виділити процес проектування контролера двигуна, включаючи вибір компонентів та аналіз, щоб продемонструвати, що його можна легко зробити власноруч.
4. Впровадити бездротовий метод відстеження даних про систему.

1. БЕЗКОЛЕКТОРНІ ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Безколекторні двигуни [1]отримали широке поширення завдяки розвитку електроніки і, в тому числі, завдяки появі недорогих силових транзисторних ключів. Також важливу роль зіграла поява потужних неодимових магнітів.

Безколекторні двигуни постійного струм в різних джерелах називають вентильним, BLDCM (BrushLes Direct Current Motor) або PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) .

1.1 Внутрішня будова безколекторного двигуна

Конструктивно безколекторний двигун складається з ротора з постійними магнітами і статора з обмотками (рис. 1.1 б). В колекторному двигуні навпаки, обмотки знаходяться на роторі (рис.1.1 а) . Тому, далі в тексті ротор - магніти, статор - обмотки.

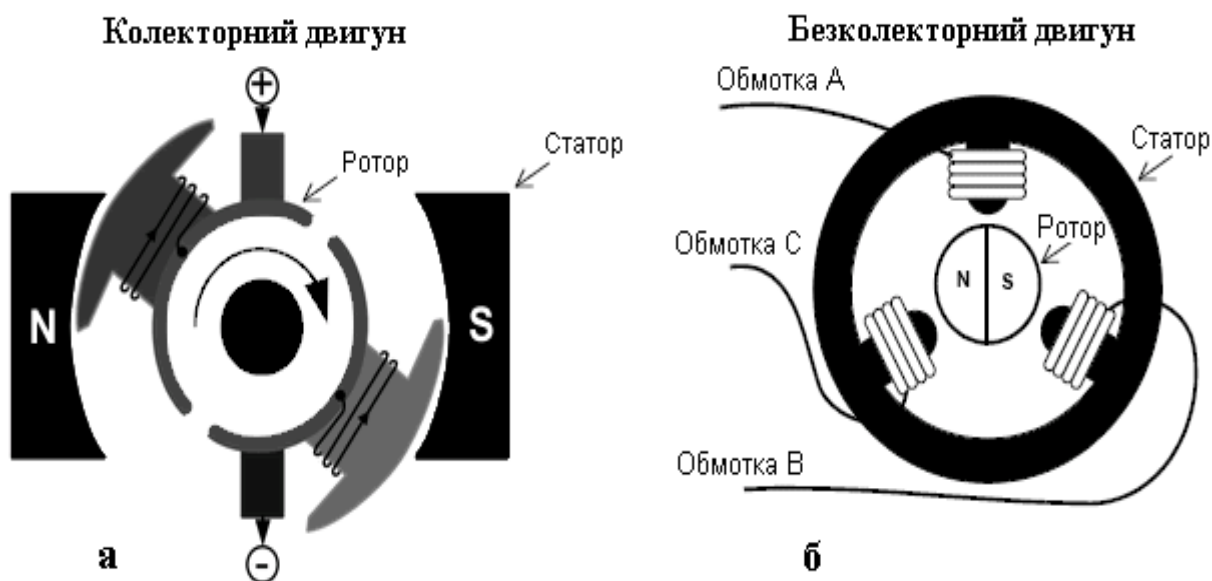


Рисунок 1.1- Будова двигуна: а) колекторного б) безколекторного

Розрізняють два типи двигунів: Inrunner (рис 1.2 а), у яких магніти ротора знаходяться всередині статора з обмотками, і Outrunner (рис.1.2 б), у яких магніти розташовані зовні і обертаються навколо нерухомого статора з обмотками.

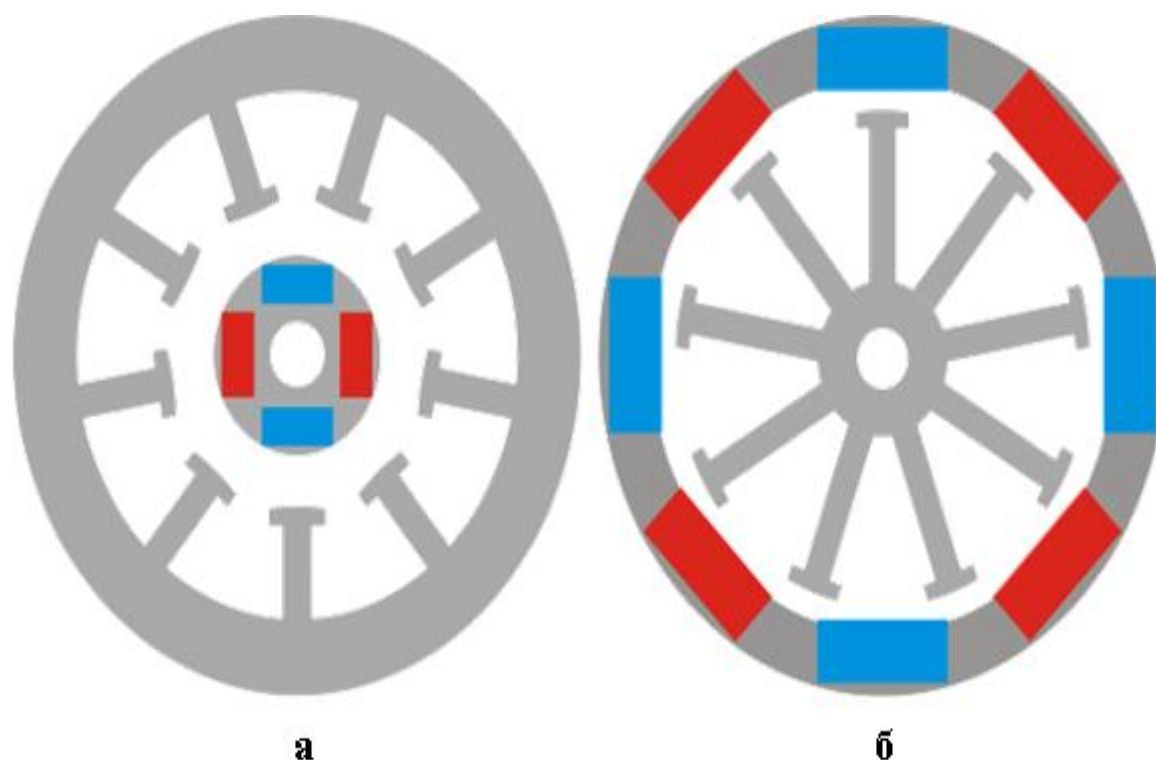


Рисунок 1.2-Різновид вентельних двигунів: а) Inrunner б) Outrunner

Схему Inrunner зазвичай застосовують для високоспритних двигунів з невеликою кількістю полюсів. Outrunner при необхідності отримати високомоментного двигун з порівняно невеликими оборотами. Конструктивно Inrunners простіше через те, що нерухомий статор може служити корпусом. До нього можуть бути змонтовані кріпильні пристосування. У разі Outrunners обертається вся зовнішня частина. Кріплення двигуна здійснюється за нерухому вісь або деталі статора. У разі мотор-колеса кріплення здійснюється за нерухому вісь статора, дроти заводяться до статора через порожнисту вісь.

Кількість полюсів на роторі парне. Форма застосовуваних магнітів зазвичай прямокутна. Циліндричні магніти застосовуються рідше. Встановлюються вони з чергуванням полюсів. Кількість магнітів не завжди відповідає кількості полюсів. Кілька магнітів можуть формувати один полюс (рис 1.3).

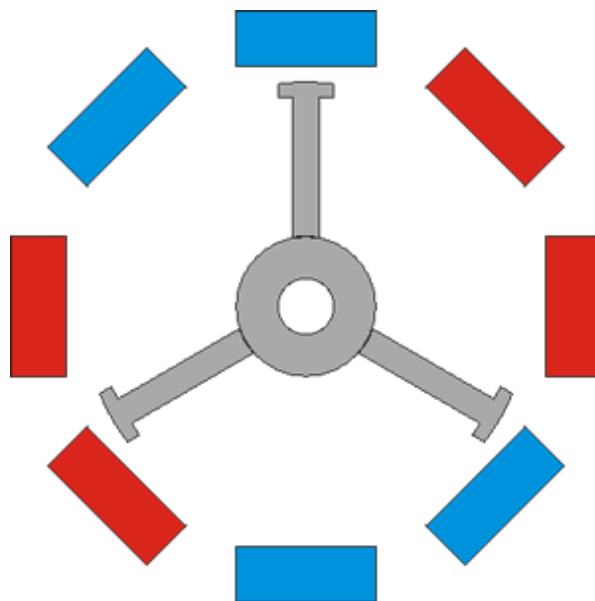


Рисунок 1.3-Розміщення магнітів всередині двигуна

В цьому випадку 8 магнітів формують 4 полюса [4]. Розмір магнітів залежить від геометрії і характеристик мотора. Чим сильніші застосовуються магніти, тим вище момент сили, що розвивається двигуном на валу. Магніти на роторі закріплюються за допомогою спеціального клею. Матеріал ротора може бути магнітопровідним (сталевим), немагнітопровідним (алюмінієві сплави, пластики і т.д.), комбінованим.

Обмотка трифазного безколекторного двигуна виконується мідним дротом. Провід може бути одножильним або складатися з декількох ізольованих жил. Статор виконується з декількох складених разом листів магнітопровідної сталі (рис. 1.4).

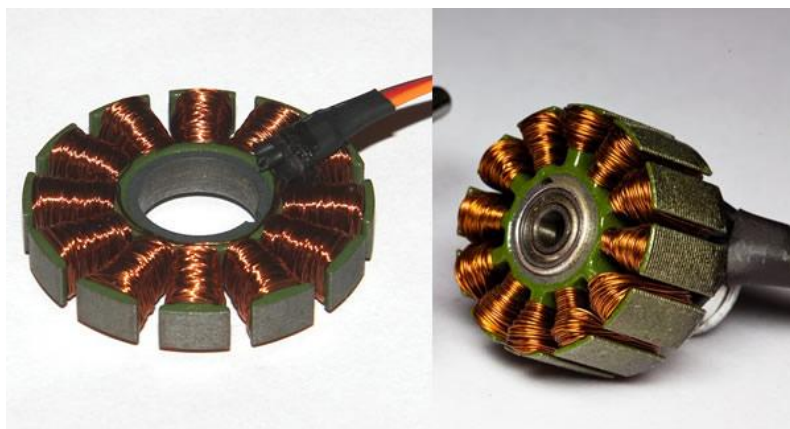


Рисунок 1.4- Статор безколекторного двигуна з мідними жилами

Кількість зубів статора має ділитися на кількість фаз, тобто для трифазного безколекторного двигуна кількість зубів статора має ділитися на 3. Кількість зубів статора може бути як більше так і менше кількості полюсів на роторі. Наприклад існують мотори зі схемами: 9 зубів / 12 магнітів; 51 зуб / 46 магнітів.

Двигун з 3-х зубим статором застосовують вкрай рідко. Оскільки в кожен момент часу працює тільки дві фази, магнітні сили впливають на ротор не рівномірно по всьому колу (рис. 1.5).

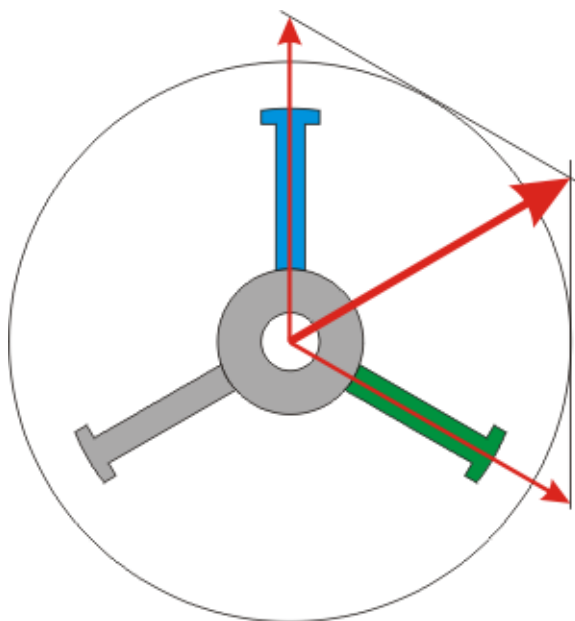


Рисунок 1.5-Сили які виникають в двигуні.

Сили, що впливають на ротор, намагаються його перекосити, що призводить до збільшення вібрацій. Для усунення цього ефекту статор роблять з великою кількістю зубів, а обмотку розподіляють по зубах всього кола статора якомога рівномірніше. В цьому випадку магнітні сили, які впливають на ротор, компенсують один одного дисбалансу не виникає.

1.2 Схеми з'єднань обмоток BLDCM

Трифазні безколекторні двигуни набули найбільшого поширення[2]. Але вони можуть бути і одне, двох, трьох і більше фазними. Чим більше фаз, тим більш плавне обертання магнітного поля, але й складніша система управління двигуном. Трьох фазна система найбільш оптимальна по співвідношенню ефективність /

складність реалізації, тому і отримала настільки широке поширення. Далі буде розглядатися тільки трифазна схема, як найбільш поширена. Фактично фази - це обмотки двигуна. Тому якщо сказати "триобмотковий", думаю, це теж буде правильно. Три обмотки з'єднуються за схемою "зірка" (рис. 1.6 а) або "трикутник" (рис. 1.6 б). Трифазний безколекторний двигун має три дроти - кінці обмоток.

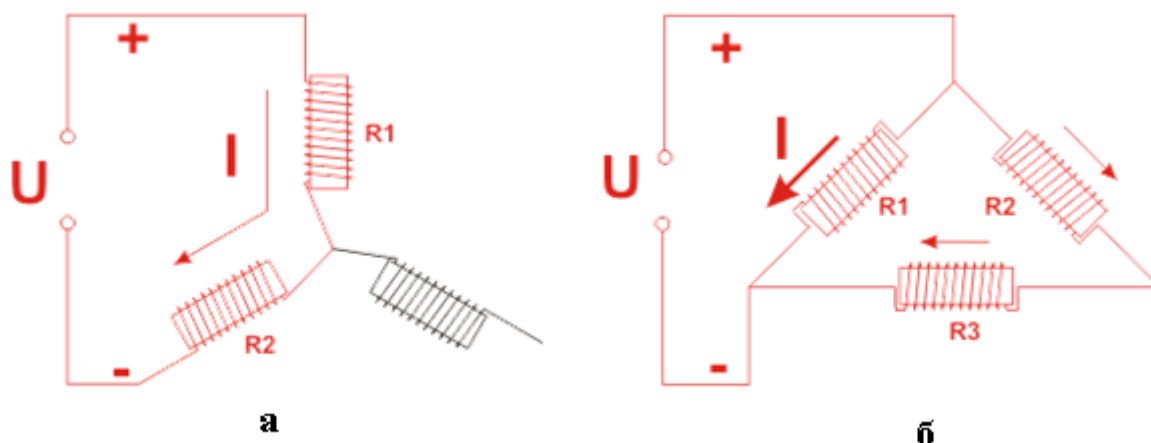


Рисунок 1.6-Види з'єднання обмоток а) зірка, б) трикутник

При включенні зіркою струм протікає через дві обмотки. Результуючий опір дорівнює сумі опорів двох обмоток

$$R = R1 + R2 \quad (1.1)$$

Відповідно максимально можливий струм, протікає через обмотки

$$I = \frac{U}{R1+R2} \quad (1.2)$$

Споживана потужність

$$P = U \cdot I \quad (1.3)$$

Припустимо, що напруга 10 В, а опір обмотки 1 Ом. Тоді струм

$$I = 10 / (1 + 1) = 5A \quad (1.4)$$

Споживана потужність

$$P = 10 \cdot 5 = 50 \text{ Вт} \quad (1.5)$$

При включенні трикутником струм протікає через всі обмотки. Результуючий опір обмоток

$$R = \frac{(R1 \cdot (R2 + R3))}{(R1 + R2 + R3)} \quad (1.6)$$

Відповідно, максимально можливий струм, протікає через обмотки

$$I = \frac{U}{\frac{(R1 \cdot (R2 + R3))}{(R1 + R2 + R3)}} \quad (1.7)$$

При такій же напрузі і опорі обмоток отримуємо струм

$$I = \frac{10}{\frac{(1 \cdot (1 + 1))}{(1 + 1 + 1)}} = 15A \quad (1.8)$$

Споживана потужність

$$P = 10 \cdot 15 = 50 \text{ Вт} \quad (1.9)$$

При включенні трикутником виростають і обороти двигуна. Обмотки двигуна з'єднані трикутником гріються більше, ніж при включенні зіркою.

Очевидно, що простим перемиканням обмотки з зірки в трикутник можна отримати двигун з абсолютно іншими характеристиками. У високомоментних двигунах з тривалим режимом включення доцільно застосовувати зірку. У двигунах, що працюють в короткочасному режимі, що вимагають більш високих обертів, доцільно застосовувати трикутник.

Іноді в електротранспорті старт і розгін виконується при включенні обмоток зіркою так як це включення забезпечує високий момент на валу, але менші оберти, після розгону виконується перемикання в трикутник оберти стають вищі, момент зменшується. Це дозволяє збільшити діапазон обертів двигуна, зберігши стартові характеристики.

1.3 Двигуни з датчики положення та без датчиків

Важливо усвідомити, що подавати напругу на обмотки двигуна потрібно в залежності від положення ротора. Тому електроніка повинна вміти визначати положення ротора двигуна. Для цього застосовуються датчики положення. Вони можуть бути різного типу, оптичні, магнітні і т.д. В даний час дуже поширені дискретні датчики на основі ефекту Холла[5]. У трифазному безколекторному двигуні використовується три датчика. Завдяки таким датчикам електронний блок

управління завжди знає, в якому стані знаходиться ротор і на які обмотки подавати напругу в кожен момент часу.

Існують безколекторні двигуни, які не мають датчиків. У таких PMSM положення ротора визначається шляхом вимірювання напруги на незадіяній в даний момент часу обмотці. Слід звернути увагу на істотний момент: цей спосіб актуальний тільки при обертанні двигуна. Коли двигун не обертається або обертається дуже повільно, такий метод не працює.

Пристрій двигунів без датчиків відрізняється від двигунів з датчиками тільки відсутністю останніх. Інших принципових відмінностей немає. Датчики реагують на магнітне поле, їх розташовують, як правило, на статорі таким чином, щоб на них впливали магніти ротора (рис. 1.7). Кут між датчиками повинен бути 120 градусів.

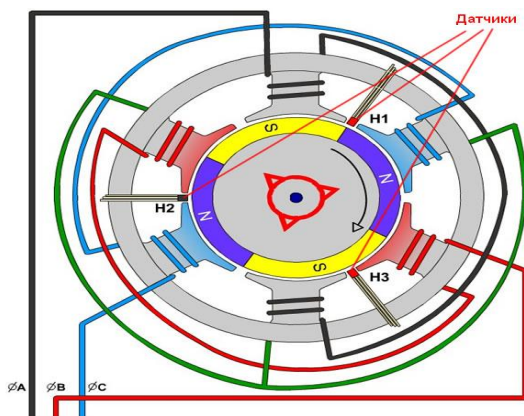


Рисунок 1.7- Розміщення датчиків всередині електродвигуна

Мається на увазі "електричних" градусів. Тобто для багатополісного двигуна фізичне розташування датчиків може бути таким як на рис. 1.8.

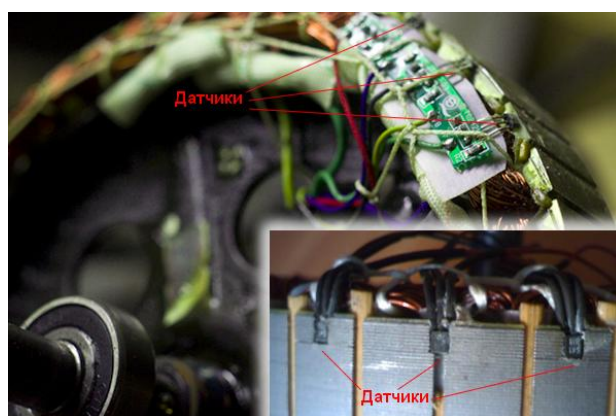


Рисунок 1.8- Фізичне розміщення датчиків

Двигуни з датчиками мають додаткових 5 проводів 2-живлення датчиків положення, і 3 сигнали від датчиків. У трифазній системі в кожен момент часу напруга подається на дві з трьох обмоток. Таким чином, є 6 [6] варіантів подачі постійної напруги на обмотки двигуна, як показано на рис 1.10.

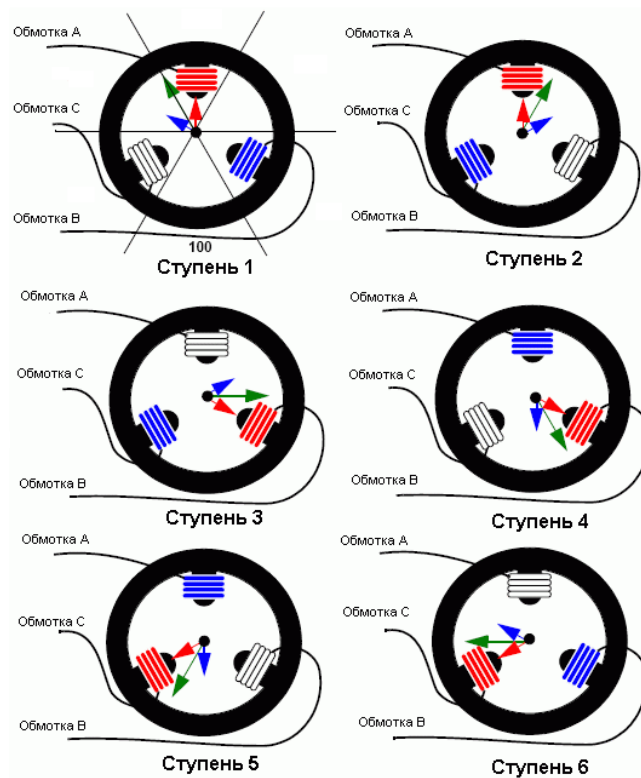


Рисунок 1.10 - Варіанти подачі постійної напруги на обмотки двигуна

Це дозволяє створити обертове магнітне поле, яке буде провертатися "кроками" на 60 градусів при кожному перемиканні.

Висновок

В даному розділі було розглянуто безколекторні двигуни постійного струму як найкращі двигуни які створені на даний момент. Розглянуто їхню будову для того, щоб краще розібратися з можливостями керування ними . Проаналізовано різновиди двигунів, що дозволить розробити контролер якій зможе керувати різними типами двигунів.

2.АНАЛІ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СКУТЕРА

2.1 Принцип роботи контролера

Принцип роботи контролера аналогічний мозковій діяльності. Спочатку контролер сприймає сигнал від електрообладнання, далі - аналізує прийняту інформацію, і в кінцевому підсумку забезпечує скоординовану роботу електросистеми відповідно до поставлених перед ним завдань.

Для того щоб зрозуміти, що відбувається в електроніці регулятора, керуючого безколекторним двигуном, повернемося трохи назад і спочатку розберемося як працює колекторний двигун. Рамка зі струмом обертається в магнітному полі. При цьому вона не обертається постійно, а повертається до певного положення. Для того щоб відбувалося безперервне обертання, потрібно перемикає напрямки струму в рамці в залежності від положення рамки. У нашому випадку рамка зі струмом - це обмотка двигуна, а перемиканням займається електроніка, за допомогою напівпровідникових ключів - в потрібні моменти підключає постійний струм на потрібні обмотки статора[7]. Контролер працює за принципом понижуючого перетворювача, і завдяки цьому, фазний струм, що протікає по обмотках електродвигуна, може значно перевищувати батарейний струм, що протікає від батареї до контролера. Саме контролер визначає потужність, що надходить в BLDCM.

Очевидно, що струм на обмотках статора безколекторного двигуна необхідно подавати у правильні моменти часу, тоді, коли ротор знаходиться у визначеному положенні. Для цього застосовується один із наступних методів. Перший - на основі датчика положень ротора, другий - через зміну ЕРС на одній з обмоток, яка в даний момент не отримує запит.

2.2 Метод управління з датчиками положень ротора

Система управління двигуном BLDC - це складна схема, де декілька компонентів працюють в парі, щоб змусити двигун рухатися бажаним чином[7]. Поки магніти та

котушки дбають про електричний аспект, мікроконтролер виконує роль мозку, що приводить в рух двигун. Два сенсорні входи, які тут набувають великого значення, це швидкість і положення. Давайте розберемося з ними в контексті рухової комутації.

Комутація - це процес перемикання струму у фазах двигуна для полегшення обертання двигуна.

Комутація в двигуні BLDC - це 6-етапний процес. Трифазний H-міст використовується для створення шести векторів потоку, кожен з яких викликає обертання двигуна на 60 градусів що відповідає наступному положенню, таким чином здійснюючи повний оберт на 360 градусів.

У промисловості електродвигунів існує багато типів датчиків, таких як кодери, перемикачі та потенціометри. Однак найбільш широко використовуваним і застосовуваним датчиком є датчик ефекту Холла.

2.2.1 Датчик ефекту Холла

Датчик ефекту Холла по суті є перетворювачем, заснованим на принципі ефекту Холла[5].

Ефект отримання вимірюваної напруги, коли провідник або напівпровідник зі струмом, що протікає в одному напрямку, вводиться перпендикулярно магнітному полю, називається ефектом Холла.

Датчик ефекту Холла - це твердотільний пристрій, який застосовує цей принцип для визначення положення, швидкості та різних інших атрибутів, необхідних для ефективної роботи двигуна BLDC.

Невелике значення струму постійно проходить через смугу Холла. Як уже зазначалося, змінне поле від цього роторного магніту створюватиме напругу на смугі Холла. Потім напруга подається на цифрову схему яка, в свою чергу, видає цифровий сигнал як вихід датчика ефекту Холла.

2.2.2 Принцип роботи датчик ефекту Холла в двигуні BLDC

Зазвичай двигун BLDC матиме три датчики ефекту Холла, встановлені на роторі або статорі. Ці датчики Холла розташовані на 120 градусів один від одного, даючи кут від 0 до 360 градусів.

Коли ці датчики Холла контактують з магнітним полем ротора, він генерує відповідний цифровий імпульс в перерахунку на 1 і 0, як показано на схемі нижче.

За шість кроків ці датчики Холла здатні надати положення двигуна. На рис. 2.1 прямокутної форми сигналів демонструють позитивний та негативний імпульси, генеровані під відповідним кутом усіма трьома датчиками ефекту Холла - А, В і С.

Рис 2.1 також показує, як одна комутація виконується за 6 кроків, коли кут досяг 360 градусів.

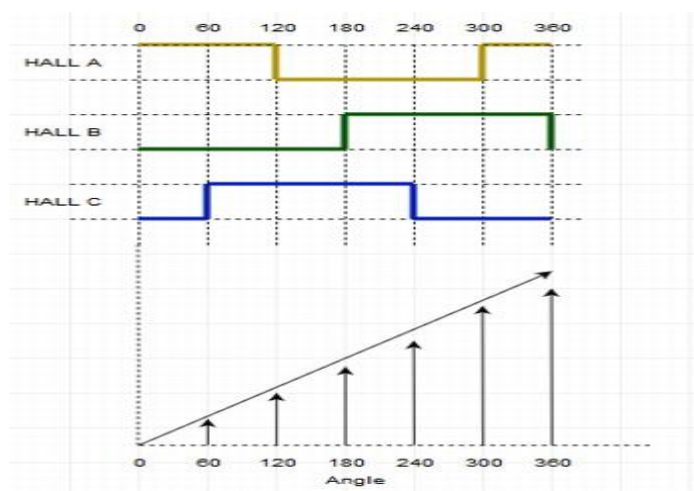


Рисунок 2.1- Шість кроків перемикання датчиків

На рис. 2.2 показано типовий контролер двигуна BLDC. Три лінії, що йдуть від двигуна до контролера, зображують сигнал, що надходить від трьох датчиків ефекту Холла.

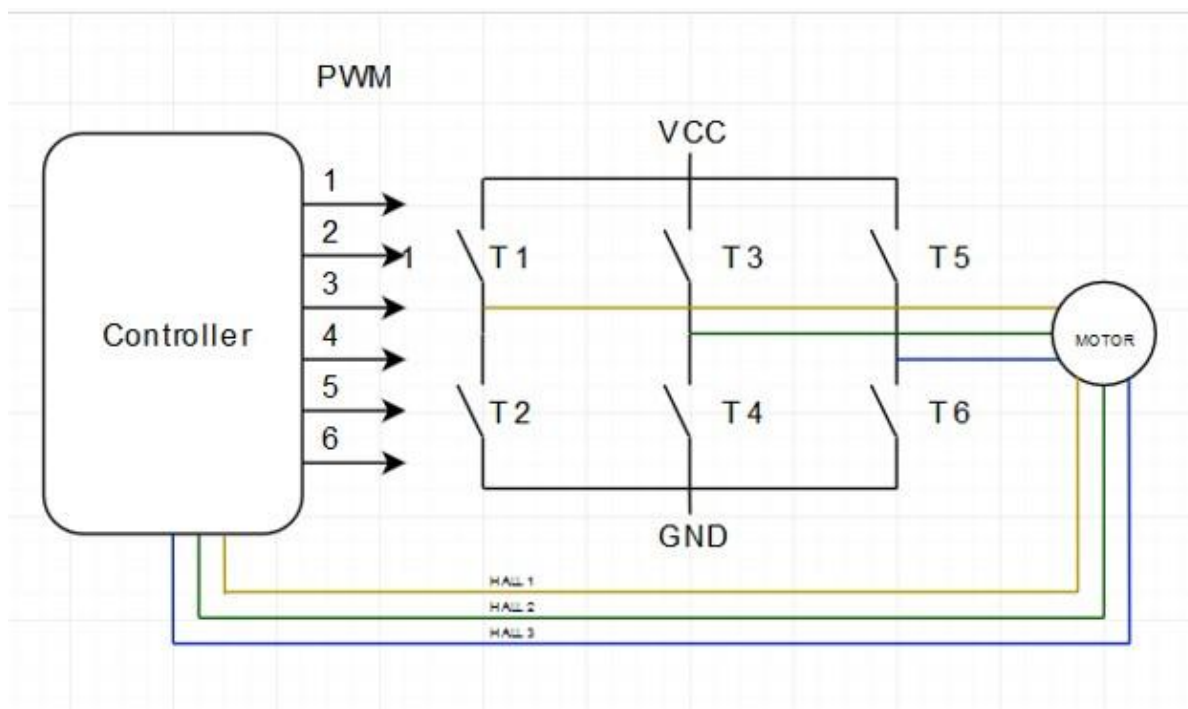


Рисунок 2.2- Типова система контролю двигуном BLDC

Датчик ефекту Холла здатний розрізняти позитивний і негативний заряд, що рухається в протилежному напрямку. Магнітне поле, виявлене датчиком ефекту Холла, перетворюється у відповідний аналоговий або цифровий сигнал, який може зчитувати електронна система, зазвичай система управління двигуном.

2.2.3 Переваги та недоліки використання датчика ефекту Холла в контролері двигуна BLDC

Переваги використання датчика

- Датчик ефекту Холла - це дуже простий пристрій, що складається з магнітів, отже, дуже вигідний для систем управління двигуном.
- З тієї ж причини ці датчики легко впровадити в удосконалені системи управління двигуном для електробайків та іншому електротранспорті
- Більшість двигунів BLDC оснащені цими датчиками.

- Датчики ефекту Холла в основному захищені від умов навколишнього середовища, таких як вологість, температура, пил і вібрація.

Недоліки використання датчика

- При виході з ладу хоча б одного із датчиків, контролер перестає коректно подавати струм до двигуна, з'являються ривки.
- Датчики вимагають окремих проводів.

2.3 Метод управління електродвигуном без датчика

Електрорушійна сила відноситься до напруги, що генерується обертовим двигуном. Вимірювання цієї напруги для визначення швидкості обертання двигуна зазвичай називають зворотнім-ЕРС[8], оскільки напруга має тенденцію до "відштовхування" проти струму ланцюга, що рухається в обмотках двигуна. Ця індикація швидкості може використовуватися в алгоритмах управління рухом для модуляції швидкості або для обчислення кутової відстані, яку двигун пройшов за час.

Зазвичай двигун приймає потужність у вигляді напруги та струму. Ця потужність з часом перетворюється на механічну енергію у вигляді обертання. З генератором цей процес просто зворотний; він приймає механічну енергію і перетворює її в електричну енергію за допомогою напруги та струму. Більшість двигунів можуть бути генераторами, просто обертаючи двигун напругу / струм на з'являється на обмотках двигуна. Проста демонстрація цього ефекту з'єднати два двигуни разом. Обертання одного двигуна призводить до обертання іншого на основі сили струму, що створюється при повороті обмоток першого двигуна.

При використанні вимірювань зворотної ЕРС для управління рухом використовується концепція, що двигун також є генератором. Двигун працює майже безперервно, струм вводиться в обмотки. Схема приводу перестає подавати струм, і обмоткам дозволено електрично плавати. Інерція в системі двигуна підтримує її обертання, і проводиться вимірювання напруги від обертового двигуна

/ генератора. Цей процес може відбутися за надзвичайно короткий час, тому він майже непомітний для спостерігача.

Напруга, що спостерігається під час обертання двигуна, прямо пропорційна його швидкості обертання та фізичним властивостям двигуна. Таким чином, швидкість обертання двигуна може бути обчислена без використання оптичних кодів або інших форм активного зворотного зв'язку.

2.3.1 Процес зчитування швидкості обертання двигуна без датчиків

Зчитування швидкості обертання з двигуна за допомогою Back-EMF[12] вимагає двох змінних кроків. По-перше, двигун працює протягом деякого періоду часу, подаючи струм на обмотки. Цей струм може подаватися як вхід постійної напруги або імпульсно-модульований (ШІМ) двигун; остання є найпоширенішою, оскільки дозволяє варіювати швидкість двигуна. Другим кроком є зняття ведучої напруги та електричне плавання обмоток. Електрично плаваючий означає, що між обмотками та будь-яким іншим джерелом немає активного кола. Потім можна підключити або активувати схему, здатну вимірювати напругу на обмотках. Інерція в двигуні та механічній системі змушує двигун продовжувати крутитися досить довго, щоб виміряти напругу, що виробляється двигуном. Зазвичай ці кроки чергуються приблизно на 50 Гц, або раз на 20 мілісекунд.

Час, необхідний для перемикання двигуна з двигуна на генератор, залежить від властивості ємності та накопиченого заряду в індуктивності обмоток двигуна. Цей час зазвичай становить близько 1-2 мілісекунд і залежить від багатьох умов та характеристик двигуна. Спостереження за процесом на осцилографі може дати уявлення про реакцію часу рухової системи. Зображення осцилографа представлені нижче, показують різні етапи та вводять термінологію, що використовується для управління двигуном за допомогою Back-EMF[8]. Ці ілюстрації базуються на прикладі установки, де ШІМ-сигнал логічного рівня мікроконтролера використовується для управління H-мостом. Мікроконтролер також використовується для непрямого вимірювання напруги зворотної ЕРС після фільтрації та масштабування. На рис 2.3 показано, як може виглядати осцилограф

при роботі двигуна на $1/4$ швидкості від схеми приводу ШІМ. Зверніть увагу, як напруга зворотної ЕРС стабілізується приблизно на $1/4$ максимальної напруги ШІМ. Якщо розрив вимірювання зворотної ЕРС занадто довгий, двигун почне гальмувати, і напруга відповідно падатиме.

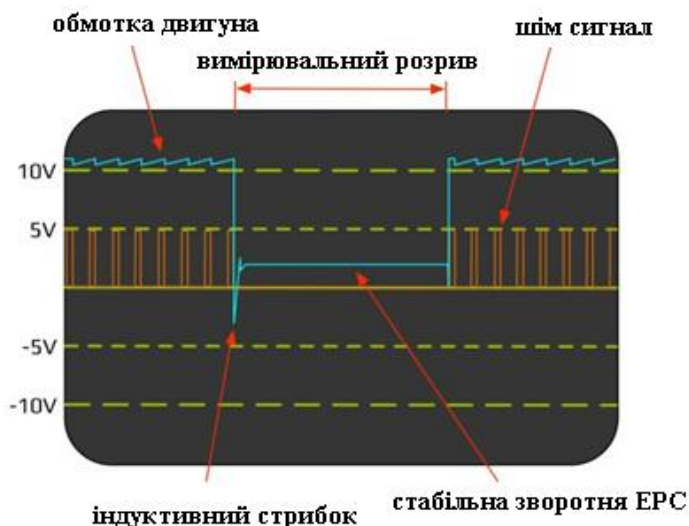


Рисунок 2.3- 25% модельований робочий цикл

Збільшивши робочий цикл ШІМ до $3/4$ швидкості, показники осцилографа будуть виглядати приблизно так, як на рис. 2.4. Ця діаграма схожа на попередню, але зараз стабільний сигнал зворотної ЕРС становить приблизно $3/4$ максимальної напруги приводу обмотки двигуна.

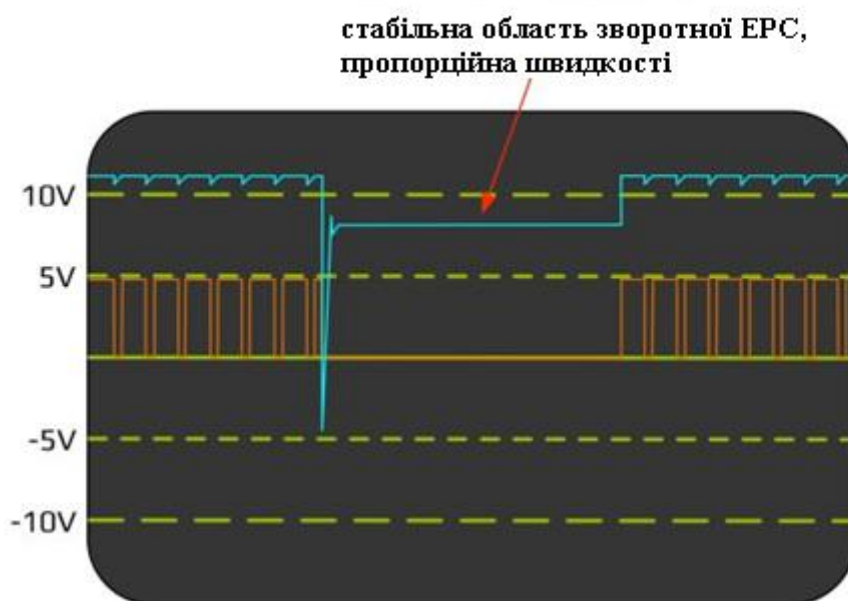


Рисунок 2.4-75% модельований робочий цикл

Наведена на рис. 2.5 схема ілюструє 3/4-швидкості двигуна під навантаженням. Збільшення навантаження на двигун змушує його витягувати більше струму з ланцюга приводу, коли він подає напругу. Більш високий струм в обмотках двигуна викликає більшу індуктивність в обмотках. Індуктивний спайк більший за величиною, і йому потрібно більше часу, щоб стабілізуватись до області Back-EMF. Тривалість індуктивного спайку базується на часі, коли система розсіює потужність в індуктивності та ємності системи обмотки двигуна. Правильна настройка затримки вимірювання, часу до проведення вимірювання зворотної ЕРС, є важливою для мінімізації зазору вимірювання, забезпечуючи при цьому достатньо часу для стабільного та точного вимірювання зворотної ЕРС.

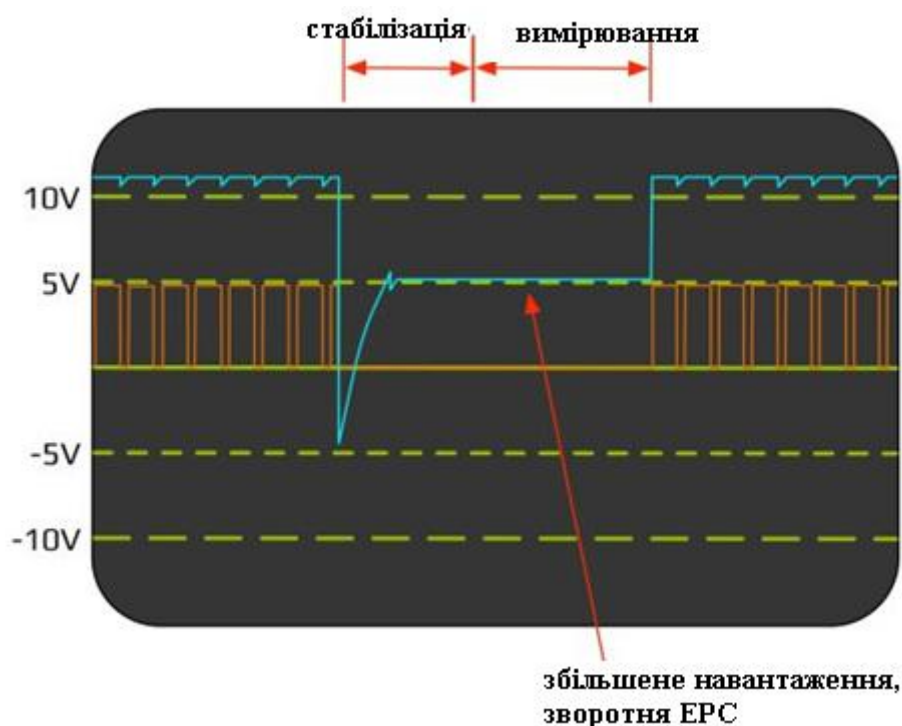


Рисунок 2.5- 75% змодельований робочий цикл з великим навантаженням

2.3.2 Переваги та недоліки використання методу без датчиків.

Переваги

- Вимірювання швидкості зворотної ЕРС особливо корисно, якщо неможливо використовувати датчик на двигуні або трансмісії.

Недоліки

- Розробка схеми вимірювання зворотної ЕРС є складною
- Датчики можуть подавати інформацію про абсолютне положення, тоді як швидкість звіту Back-EMF повинно обчислюватися шляхом інтегрування швидкості в часі, що може спричинити значні помилки та накопичення.
- Регулювання швидкості зворотної ЕРС є те, що він ефективно зменшує максимальний робочий цикл, оскільки для полегшення вимірювань він вимагає періодичного вимкнення двигуна.

2.4 Функція яку виконує контролер швидкості

Електронний регулятор швидкості слідує за контрольним сигналом швидкості отриманим від важеля дросельної заслінки, джойстика або іншого ручного введення [14]. Контролери можуть по-різному реагувати на сигнали ручки газу, в одних ви керуєте швидкістю, в інших потужністю, або навіть обертовим моментом

Контролер, керуючи роботою електричного транспорту, забезпечує:

- включення / вимикання електроніки,
- регулювання швидкості обертання мотор-колеса,
- можливість обмеження швидкості,
- круїз контроль,
- можливість роботи в трьохшвидкісному режимі,
- функціонування системи рекуперативного гальмування,
- підключення та відображення на панелі управління параметрів роботи електросистеми,

Основні, виконувані контролером функції управління роботою електровелосипеда можна розділити на три групи:

- управління швидкістю руху електровелосипеда,
- управління крутним моментом,
- захист електродвигуна.

Завдяки можливостям контролера можна регулювати не тільки швидкість руху, але і рівень регенерації енергії [10] при гальмуванні. У цьому випадку контролер забезпечує роботу електродвигуна як генератора енергії, створюючи таким чином умови для часткового відновлення енергії батарей. Система рекуперативного гальмування дозволяє збільшувати пробіг електровелосипеда від одного заряду акумуляторних батарей, а також забезпечує високу енергетичну економічність.

2.5 Аналіз існуючих на ринку аналогів

Контролери різняться за формою вихідного сигналу: одні створюють сигнали прямокутної форми так званий меандр рис.2.6, такі контролери зазвичай дешевше.

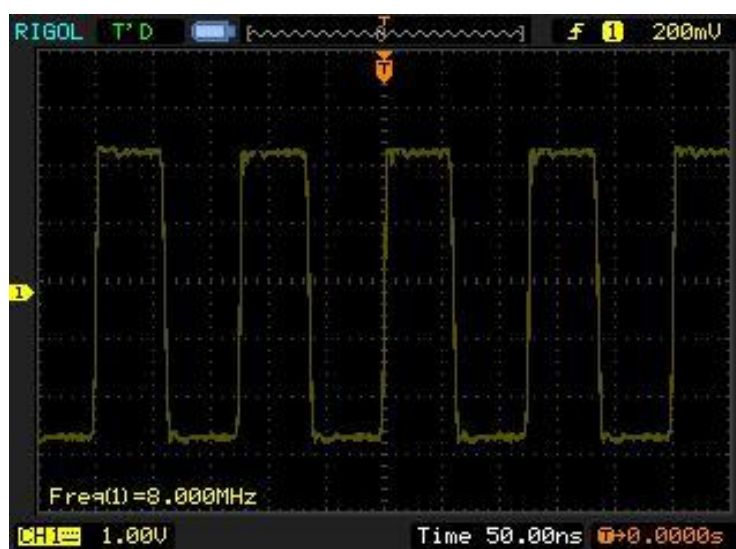


Рисунок 2.6-Вихідний сигнал в формі меандра

Інші можуть створювати чисту синусоїду (рис.2.7 б). Існує і проміжний варіант модифікована синусоїда (рис.2.7 а), можна сказати згладжений меандр, але такі контролери не користуються популярністю.

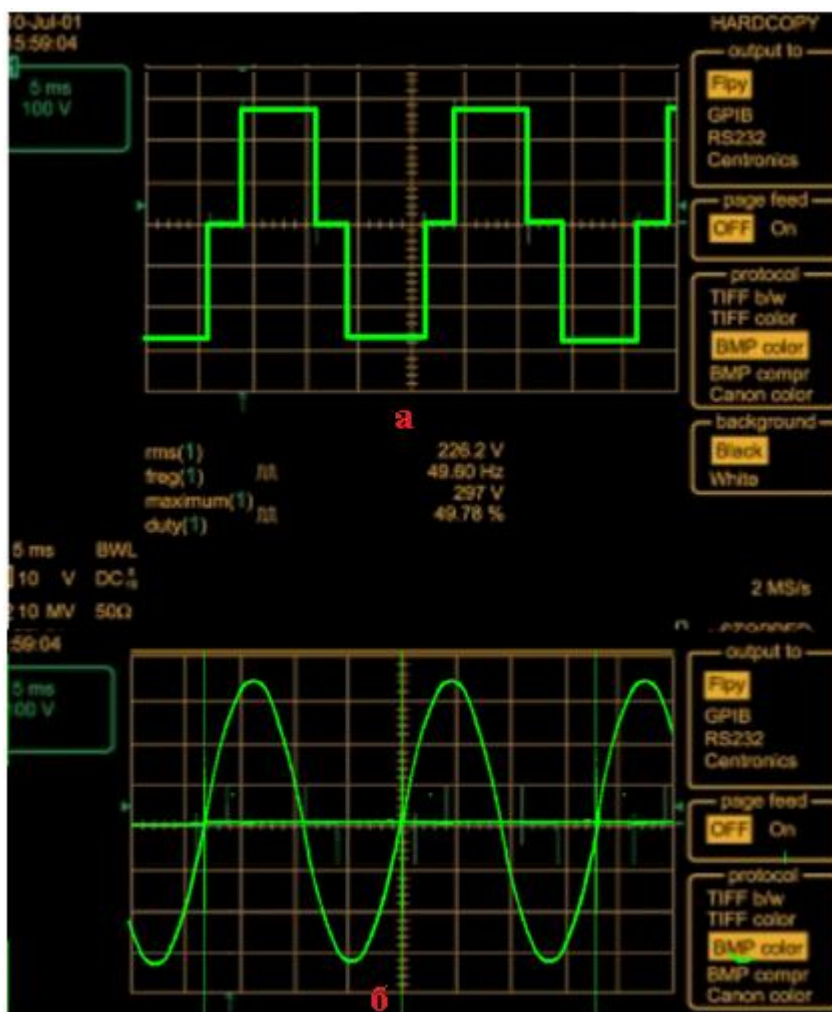


Рисунок 2.7-Вихідний сигнал в формі а)модифікована синусоїда б)синусоїда

При використанні контролерів з вихідним сигналом у формі меандра Ви отримаєте трохи більшу швидкість обертання, ніж при використанні синусних, але за це доведеться розплачуватися підвищеним шумом двигуна, що виникає через мікровібрації обмоток двигуна під дією сигналу такої форми. При використанні синусового контролера Ви будете насолоджуватися тишею, але трохи втратите в максимальній швидкості при такій же напрузі батареї.

Більшість контролерів для електровтранспорту, представлених на ринку, - китайські. Вони хоч і відносно дешеві близько 700 грн залежно від потужності, але є невідомою коробкою, в якій невідомо що відбувається. І відразу до неї виникає дуже багато питань - економічно вона споживає і розподіляє струм, який у неї запас потужності, чому так сильно перегрівається, передчасно спрацьовує захист по струму.

2.5.1 Контролер системи управління безщіточним мотором QS-909

Найдешевший із китайський контролер для управління безщіточним мотором це QS-909 (рис 2.8) ціна такого дивайса 350 грн .



Рисунок 2.8-Контролер QS-909

Далі наведені технічні характеристики пристрою QS-909.

Таблиця 2.1 QS-909

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	12-36
Робочий струм, А	10 або менше
Ефективність, %	Невідома
Потужність драйвера, Вт	360 або менше
Робоча температура, ° С	-40 ~ 85
Волого стійкість	-
Форма вихідного сигналу	Меанд
Габаритні розміри, мм	63x42x17
Ціна,грн	350

Функції які доступні в контролері це лише захист від перевантаження по струму.

Як бачимо головною перевагою даного драйвера є невеликі розміри.

2.5.2 Контролер системи управління безщіточним мотором GREENTIME 36

Розглянемо як наступний аналог трішки дорожчий контролери вже в корпусі GREENTIME 36 (рис 2.9). Він уже більше підходить для використання в електротранспорті так як має корпус.



Рисунок 2.9- Пристрій для керування мотор-колесом GREENTIME 36

Далі неведені технічні характеристики пристрою GREENTIME 36.

Таблиця 2.1 GREENTIME 36

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	36
Робочий струм, А	13 або менше
Потужність драйвера, Вт	468 або менше
Ефективність, %	>83
Робоча температура, ° С	-40 ~ 85
Волого стійкість	IPX3
Форма вихідного сигналу	Меанд
Габаритні розміри, мм	131x72x38
Ціна,грн	650

Функції які є в даному пристрої:

- рекуперативного гальмування
- управління за допомогою акселерометра
- дозволя вибрати в яку сторону буде крутитися мотор

Функціонала порівняно з минулим контролером не додалось крім самовивчення, та рекуперативного гальмування яке по відгукам в інтернеті не працює або працює не ефективно.

І більшість представлених контролерів на китайському ринку такі мало функціональні і відрізняються лише потужністю і відповідно ціною.

2.5.3 Контролер системи управління безщіточним мотором Kelly KLS7212S

У той же час на ринку представлені європейські якісні контролери для електробайка. Вони оснащуються розширеними функціями, працюють на різних напругах і струмах і їх можна програмувати. Встановлюються вони на надпотужний і дорогий електротранспорт. Але ціна у них - 7-20 тис. грн. Представлений контролер Kelly KLS7212S (Рис 2.10)



Рисунок 2.10- Контролер фірми "Kelly"

Далі неведені технічні характеристики пристрою Kelly KLS7212S.

Таблиця 2.3 Kelly KLS7212S.

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	24-60
Робочий струм, А	50 або менше
Потужність, Вт	3000 або менше
Робоча частота, кГц	20
Ефективність, %	>85
Робоча температура, °С	-40 ~ 100
Волого стійкість	IPX5
Форма вихідного сигналу	Синусоїда
Габаритні розміри, мм	108x78x41
Ціна, грн	7500

Основні його функції

- Включення / вимикання контролера за допомогою замка запалювання, або кнопки.
- Управління швидкістю за допомогою ручки газу.
- Круїз контроль, фіксація будь-якої бажаної швидкості в межах можливостей мотор-колеса.
- Обмеження максимальної швидкості при русі вперед в діапазоні 20% -100%)
- Автоматичне відключення мотор-колеса при гальмуванні
- Функція гальмування регенерації. Регенерація може відбуватися на будь-яких швидкостях до нульової швидкості.
- Відображення швидкості, відстані пробігу, рівня зарядки акумуляторної батареї при підключенні LCD дисплея.

2.5.4 Контролер системи управління безщіточним мотором SCLS 4812S

Контролер SCLS 4812S (рис 2.11) повинен зменшувати шум двигуна BLDC. Двигун BLDC повинен базуватися на 3 датчиках Холла.



Рисунок 2.11-Зовнішній вигляд Контролера SCLS 4812S

Далі неведені технічні характеристики пристрою SCLS 4812S

Таблиця 2.4 SCLS4812S

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	24-72
Робочий струм, А	100 або менше
Потужність , Вт	7200 або менше
Робоча частота, кГц	20
Ефективність, %	>87
Робоча температура, ° С	-40 ~ 100
Волого стійкість	IPX5
Форма вихідного сигналу	Синусоїда
Габаритні розміри, мм	160x80x47
Ціна,грн	17000

Загальні функції:

- Розширене виявлення та захист несправностей. Світлодіодний блимаючий шаблон вказує на джерела несправностей. Замовники також можуть прочитати код помилки на панелі.
- Моніторинг напруги акумулятора. Він припинить рух, якщо напруга акумулятора буде занадто високою, і він буде поступово зменшувати потужність приводу двигуна, коли напруга батареї падає, доки вона повністю не вимкнеться за попередньо встановленим параметром "Низька напруга батареї".
- Вбудований струмовий контур і захист від переструму.
- Настроюваний діапазон захисту температури двигуна.
- Поточне скорочення при низькій та високій температурі для захисту акумулятора та контролера. Струм починає зменшуватися при температурі 90 °C корпусу, вимикаючись при 100 °C.
- Контролер постійно контролює напругу підзарядки акумулятора під час рекуперативного гальмування.
- Максимальна швидкість реверсу та швидкість руху вперед можуть бути налаштовані між 20% та 100% відповідно та окремо.
- 4-контактний роз'єм до кабелю RS232 дозволяє запрограмувати пристрій.
- 5 комутаційних входів, які активуються підключенням до 12В. За замовчуванням перемикач дросельної заслінки, перемикач гальма, перемикач заднього ходу,
- Покращена функція регулювання гальмування.
- Тепловий захист: зменшення струму, попередження та відключення при високій температурі.
- Настроюваний рівень дросельної заслінки: контролер не працюватиме, якщо при включенні буде виявлено високий рівень дросельної заслінки.

Переваги

- Великий набір функцій
- Велика вихідна потужність: можна використати на легкому автомобільному транспорті.
- Надання користувацької програма для налаштування параметрів.

Недоліки

- Надана користувацька програма але за додаткову вартість. Яка складає 500 грн.
- Велика вартість.
- Неможна відстежувати в реальному часі показники двигуна та контролера на смартфоні чи ПК лише на LCD дисплеї.
- Невідома елементна база на якій базується пристрій.

2.5.5 Розроблюваний контролер системи управління двигона електричного скутера

В даному підрозділі наведемо порівняння технічних характеристик пристроїв управління двигуном BLDC та виявимо їх слабкі сторони порівняно з розроблюваним приладом. В табл. 2.5 наведено порівняння характеристик приладів – аналогів, головних конкурентів на ринку з розроблюваним.

Як можна побачити з порівняльної таблиці, розроблюваний контролер має значні переваги у технічних характеристиках, та є конкурентоспроможним на ринку відповідно до його кращих аналогів. Серед головних переваг можна виділити його ціну, бездротову передачу даних на смартфон, та технічні характеристики.

Таблиця 2.5 — Порівняння контролерів аналогів та розроблюваного

Характеристики	QS-909	GREENTIME 36	Kelly KLS7212S.	SCLS 4812S	Розроблюваний контролер
Робоча напруга, В	12-36	36	24-60	23-72	12-54
Робочий струм, А	10	13	50	100	27 можливе збільшення
Потужність, Вт	360	456	3000	7200	1500
Робоча частота, кГц	невідома	невідома	20кГц	20кГц	20кГц
Ефективність, %	>80	>82	>85	>85	>86
Робоча температура, °С	-40~ 80	-40~ 80	-40~ 100	-40~ 100	-40~ 100
Волого стійкість	відсутня	IPX3	IPX5	IPX5	IPX3
Форма вихідного сигналу	меандр	меандр	синусоїда	синусоїда	меандр
Габаритні розміри ШхДхВ, мм	63x42x17	131x72x38	110x80x41	160x80x47	105x85x40
Ціна, грн	350	550	7500	17000	1300

Характеристики	QS-909	GREENTIME 36	Kelly KLS7212S.	SCLS 4812S	Розроблюваний контролер
Можливість програмування бажаних параметрів	-	-	-	+	+
Контроль стану двигуна в реальному часі бездоровим методом	-	-	-	-	+
Можливості Легкого вдосконалення	-	-	-	-	+

Висновок

Отже, навіщо потрібен контролер? По-перше він потрібен для того щоб електродвигун, як зовнішній, так і мотор-колесо в принципі міг запуснитися. Адже у батареї два полюси - плюс і мінус, а у МК три фазних проводи, і підключити, прямо не вийде. Контролер виконує функцію посередника між електромотором і рульовим керуванням. По-друге, контролер забезпечує управління двигуном: дозволяє регулювати швидкість обертання електродвигуна, забезпечує гальмування двигуном (рекуперація).

Проведений аналіз аналогічних пристроїв для керування двигуном BLDC. Де виявлено кращі сторони перед наявними уже на ринку.

3 СТРУКТУРНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМИ КОНТРОЛЕРА ДВИГУНА СКУТЕРА

В даному розділі проведено аналіз та вибір схемотехнічних рішень розроблюваного пристрою, створена структурна схема системи управління двигуном та схема електрична.

На нього поширювалось наступні обмеження:

- Робоча напруга 36 В (до 54 В) і пікові струми двигуна 27 А. Грубо 1.5 кВт на канал.
- Діапазон швидкості до 1500 об / хв на 14-полюсних двигунах .
- Повинна входити в обмеження обсягу деки скутера та бути стійкою до вібрацій.
- Помилки які, спричинили катастрофічну несправність контролера повинні обробляються на рівні цього модуля.
- Модуль повинен передавати інформацію на смартфон для відображення інформації про: швидкість , потужність , встановлений круїз контроль.

3.1 Структурна схема регулятора швидкості безколекторного двигуна

Перед тим, як приступити безпосередньо до розробки схеми регулятора, потрібно скласти його блок-схему (Рис 3.1). Це спростить послідовний вибір елементної бази.

Умовно розроблений регулятор можна розділити на наступні модулі:

- Модуль контролера - приймає задаючі сигнали, сигнали датчиків, видає керуючі сигнали на ключі.
- Модуль силових ключів - керує силовими ключами.
- Модуль датчиків - сукупність різних датчиків та схема узгодження.
- Смартфон.

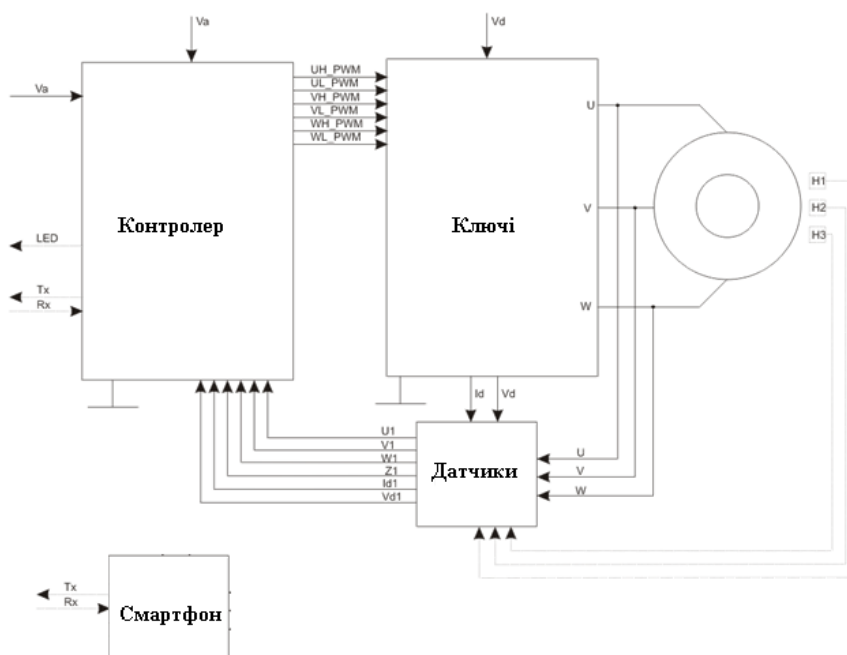


Рисунок 3.1-Блок схема регулятора швидкості

3.1.1 Модуль контролера

Регулятор повинен гарантувати основні вихідні сигнали:

ШИМ сигнал на 6 ключів (UH_PWM, UL_PWM, VH_PWM, VL_PWM, WH_PWM, WL_PWM).

Приймати сигнали:

- Від датчиків положення (H1, H2, H3);
- сигнал датчика струму двигуна (Id1);
- напруга живлення двигуна (Vd1);
- керуючий сигнал, що задає обертів двигуна (Va).

Додаткові сигнали:

- Сигнали для управління, контролю індикації. Наприклад, світлодіодний індикатор (LED),
- Сигнали для настройки регулятора з використанням терміналу Tx, Rx за допомогою WiFi модуля.

Зрозуміло, можуть бути і інші корисні сигнали, наприклад, сигнали від датчиків температури ключів і двигуна, перемикач напрямку обертання "реверс" і т.д. Так

само можуть бути зовсім специфічні датчики, необхідні для вирішення конкретного завдання.

Оскільки наш регулятор двигуна буде будуватися на мікроконтролері, він повинен гарантувати ШІМ сигнал на 6 ключів для трифазного бесколлекторного двигуна. Існує два способи:

- генерувати на виходах мікроконтролера 6 ШІМ сигналів: окремо на кожен ключ;
- генерувати один ШІМ сигнал і розводити на ключі додатковими логічними елементами "І".

Перший спосіб реалізуємо, якщо мікроконтролер має 6 ШІМ виходів. Як правило, це спеціалізовані ШІМ мікроконтролери, наприклад AT90PWM3B.

Другий спосіб легко реалізується за допомогою будь-якого мікроконтролера хоча б з одним PWM виходом + 6 дискретних виходів для кожного з ключів (рис 3.2). У цьому випадку додатково будуть потрібні мікросхеми логіки.

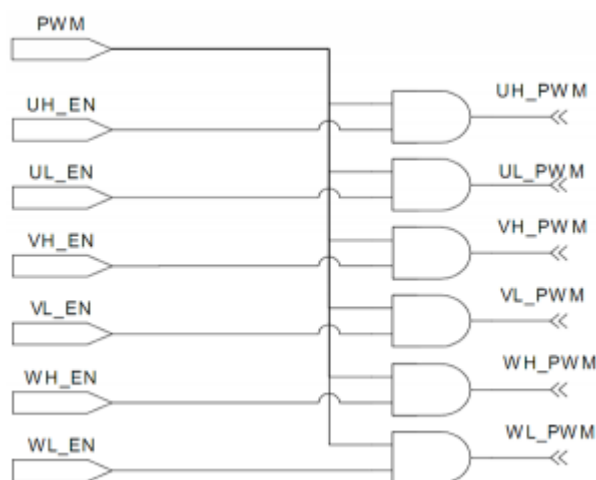


Рисунок 3.2- один PWM вихід + 6 дискретних виходів для кожного з ключів

Якщо потрібно вибрати спосіб подачі ШІМ на ключі (тільки верхні / тільки нижні / верхні і нижні) в першому випадку доведеться передбачити програмні установки. У другому можна обійтися двома перемичками на платі.

Датчикам струму і контролю напруги живлення двигуна потрібно 2 АЦП входу. Передбачається, що датчик струму видає сигнал в діапазоні живлення

мікроконтролера (0..5V). Ми будемо використовувати датчик струму на основі датчика Холла з серії ACS758.

Можна використовувати класичний шунт, з операційним підсилювачем. Датчик струму на основі датчика Холла обраний, оскільки планується управляти двигунами з великими струмами, де застосування шунта призведе до значного тепловиділення.

Контроль напруги живлення потрібен для використання батарей. Він дозволить уникнути глибокого розряду батарей.

Способів вказати регулятору, з якою швидкістю повинен обертатися двигун безліч. Це може бути як аналоговий, так і цифровий сигнал. Будемо застосовувати простий аналоговий сигнал, що формується потенціометром.

Хотілося б зробити більш-менш універсальний регулятор, який можна налаштувати для управління широким розмаїттям безколекторних двигунів. Тому, потрібно інтерфейс для налаштування регулятора. Я зупинився на непростому варіанті - підключити до Tx, Rx виходів мікроконтролера WiFi модуль. Що дозволить підключатись до смартфона або іншого пристрою який має такий інтерфейс. На даний момент цей спосіб, дозволяє передавати інформацію в обидва боки. Оскільки Tx, Rx виходи передбачається використовувати тільки для настройки регулятора, нам буде потрібно ще індикатор стану. Найбільш простий - звичайний світлодіод.

3.1.2 Модуль керування силовими ключами

Для керування трифазним безколекторним двигуном необхідно 6 ключів, включених по мостовій схемі [15]. Параметри силових ключів вибираються в залежності від характеристик керованого двигуна. Основні характеристики силових ключів - напруга і комутований струм. Модуль ключів складається з самих транзисторних ключів і драйверів ключів. Завдання драйвера ключів перетворити логічні рівні мікроконтролера в сигнали, що управляють силовими транзисторами. Для потужних польових транзисторів потрібні досить потужні сигнали. В іншому випадку час відкриття ключа може збільшитися, що викличе збільшення теплових

втратах на транзисторах. Схеми драйверів можуть будуватися на транзисторах або із застосуванням спеціалізованих мікросхем.

Драйвери ключів слід проектувати так, щоб ті не допускали можливості одночасного відкриття ключів верхнього і нижнього плеча. Крім того, повинні реалізовувати тимчасову затримку між закриттям одного ключа і відкриттям іншого. Ця затримка може бути реалізована драйвером, якщо у використовуваного драйвера є така функція, або - мікро контролером. При виході зі строю ключів, драйвери ключів повинні перешкоджати проходженню напруги, що живить двигун, в ланцюг мікроконтролера. Саме тому я вважаю за краще використовувати спеціальні мікросхеми драйвера MOSFET ключів.

Можливі методи керування силовими ключами які доступні на даний момент.

Режим модуляції ширини імпульсу: напруга живлення робиться на фіксованій частоті з робочим циклом в залежності від похибки струму. Тому можна контролювати як силу струму, так і швидкість зміни сили струму. Головною перевагою стратегії ШІМ є те, що частота рубання є фіксованим параметром; отже, звукові та електромагнітні шуми відносно легко фільтрувати. Частота ШІМ підтримується на постійному рівні, в той час як швидкість регулюється за допомогою швидкості робочого цикл. Я буду використовувати ШІМ-техніку(рис3.3) в своєму контролері, оскільки вона краще підходить для навантаження зі змінною швидкістю.

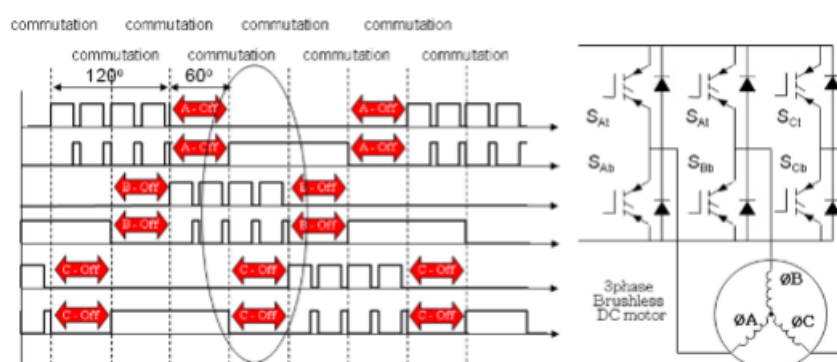


Рисунок 3.3- Метод регулювання струму ШІМ

Режим гістерезису: У регуляторі струму типу гістерезису (рис. 3.4) силові транзистори вимикаються та вмикаються відповідно до того чи є струм більшим або меншим за еталонний. Помилка використовується безпосередньо для управління станів силових транзисторів. Контролер гістерезису використовується для обмеження фазного струму в межах заданого діапазону гістерезису. Оскільки напруга живлення фіксовано, в результаті змінюється частота перемикання оскільки поточна помилка змінюється. Отже, поточна операція рубання не є фіксованою частотою ШІМ. Цей метод частіше застосовується у приводах, де швидкість та навантаження двигуна не сильно змінюються, так що коливання частоти перемикання невелике.

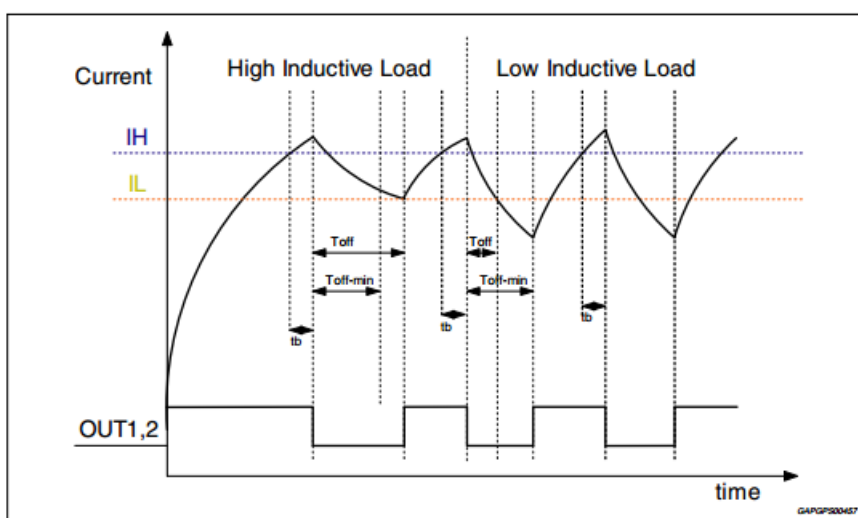


Рисунок 3.4-Метод контролю струму гістерезису

Отже був вибраний метод регулювання за допомогою ШІМ сигналу. Оскільки наш регулятор двигуна буде будуватися на мікроконтролері, він повинен гарантувати сигнал ШІМ на 6 ключів

3.1.3 Модуль датчиків

Тепер, коли у нас є двигун, перемикачі живлення та метод керування цими перемикачами через мікроконтролер, ми зв'яжемо все це з логікою синхронізації та зондування.

Модуль датчиків займається безпосередньо вимірюванням і формуванням сигналів, перетворюючи їх до вигляду, зручного для модуля контролера.

Поділ регулятора на модулі - міра умовна і спрямована в першу чергу на спрощення подальшого проектування. Вона не зобов'язує нас фізично розділяти регулятор на різні частини. Кінцева реалізація залежить від конкретної поставленої задачі.

На блок-схемі присутні датчики Холла Н1, Н2, Н3. Зрозуміло, вони потрібні тільки для двигунів з датчиками Холла.

3.1.4 Захист

Особливу увагу потрібно приділити безпеці. Оскільки необережні експерименти з двигунами навіть невеликої потужності близько 250 Вт, напругою живлення 30 вольт можуть привести до неприємностей.

В регуляторах бесколлекторного двигуна завжди присутній конденсатор. Його ємність зазвичай не маленька і при підключенні живлення двигуна буде проскакувати іскра. При живленні до 12 вольт цей ефект можна проігнорувати. Але при великому значенні напруги живлення спалах іскри може бути не тільки лякаючим яскравим і гучним спалахом, але і викликати мікро пошкодження контактів, які в подальшому можуть викликати їх більш істотну ерозію. Для усунення цього ефекту я буду використовувати найпростішу схему з струмообмежувальним резистором. Підключення до живлячої напруги виконується в два дії. Відразу до батареї підключається допоміжний контакт. Через резистор конденсатори плавно заряджаються, через кілька секунд напруга на конденсаторах практично досягає напруги живлення, після чого підключається основний контакт.

Слід передбачити можливість виходу зі строю потенціометра, що задає оберти двигуна. В реальних умовах банальний обрив проводу може призвести до неконтрольованої зміни обертів двигуна. Тому, вкрай доцільно так само передбачити аварійне відключення двигуна. Регулятор повинен перешкоджати виникненню нештатних ситуацій і в критичних випадках відключати двигун. Наприклад, в наступних випадках:

- перевищення допустимого струму;
- заклинювання двигуна;

- перевищення двигуном допустимих оборотів. Регулятор має свої технічні можливості і не зможе коректно керувати двигуном, який обертається швидше, ніж зможе відстежити регулятор;
- зниження напруги живлення нижче допустимого рівня (запобігання глибокого розряду батарей).

Позаштатні ситуації можуть привести до виходу з ладу окремих елементів регулятора. Найчастіше виходять з ладу транзисторні ключі, так як вони схильні до найбільшого навантаження і ризику. Контролер повинен реагувати на такі ситуації, як перевищення струму, і відключати ключі, щоб уникнути більш серйозних наслідків. Однак, неможливо передбачити абсолютно всі ситуації, особливо на етапі розробки. Іноді трапляються досить нестандартні випадки, при яких струм через ключі може досягати критичних значень, що загрожує неприємностями не тільки ключам, а й батареї живлення. Врятувати від цього може запобіжник. Якщо не буде хоча б елементарного запобіжника з плавкою вставкою, згорять ключі, двигун, дроти.

3.2 Вибір елементної бази для контролера

3.2.1 Апаратна платформа

Вибір апаратної платформи *Arduino nano*[16] забезпечує можливість легкої заміни програми мікроконтролера

Платформа *Arduino nano* побудована на мікроконтролері *ATMEGA168*. Має невеликі розміри. *Nano* розроблена і продається компанією *Gravitech*.

Зовнішній вигляд *Arduino Nano* зображено на рис 3.5.



Рисунок 3.5- Зовнішній вигляд мікроконтролера

У таблиці 3.1 наведено характеристики Arduino Nano [5].

Таблиця 3.1 — Характеристики апаратної платформи Arduino Nano

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ATmega168
Робоча напруга	7-12 В
Напруга живлення (гранична)	6-20 В
Цифрові входи/виходи	14 (із них 6 використовується в якості ШІМ виходів)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Flash-пам'ять	32 кБ (ATmega168)
EEPROM	1 кБ (ATmega168)
Тактова частота	16 МГц
Габаритні розміри	1,85 см × 4,2 см

Мікроконтролер ATmega168 має 32 кБ флеш-пам'яті для зберігання коду програми (2 кБ використовується для зберігання завантажувача). ATmega168 має 2 кБ ОЗУ і 1 Кб EEPROM.

Послідовний інтерфейс: виводи 0 (RX) і 1 (TX). Використовуються для отримання (RX) і передачі (TX) даних по WiFi .

Зовнішні переривання: виводи 2 і 3. Можуть служити джерелом переривання, що виникає при фронті, спаді або при низькому рівні сигналу на цих виводах.

ШІМ: виводи 3, 5, 6, 9, 10 і 11. За допомогою функції `analogWrite ()` можуть виводити 8-бітові аналогові значення в вигляді ШІМ-сигналу.

Arduino Nano має 8 аналогових входи (A0 – A7), кожен з яких може подати аналогову напругу у вигляді 10-бітового числа (1024 різних значень). За замовчуванням, вимір напруги здійснюється відносно діапазону від 0 до 5 В. Проте, верхню межу цього діапазону можна змінити, використовуючи вивід AREF і функцію `analogReference`. Крім перерахованих на платі існує ще кілька виводів:

Arduino Nano надає ряд можливостей для здійснення зв'язку з комп'ютером, ще одним Arduino або смартфоном.

ATmega168 в Arduino Nano випускається з прошитим загрузчиком, що дозволяє завантажувати в мікроконтролер нові програми без необхідності використання зовнішнього програматора. Взаємодія з ним здійснюється за оригінальним протоколом STK500.

3.2.2 Вибір світлодіодів

В схемі присутні світлодіод D1 , які сповіщають користувача у тому, що пристрій ввімкнено.

Було вирішено використати яскраві світлодіоди з малим кутом розсіювання світлового потоку LT-0059 зеленого кольору, від компанії Nichia.

Світлодіод LT-0059 має наступні основні характеристики, наведені в табл.3.2.

Таблиця 3.2 — Основні характеристики світлодіода LT-0059

Характеристика	Значення
Напруга номінальна	2,8 В
Напруга максимальна	3,4 В

Струм номінальний	9 мА
Сила світла номінальна	8000 мкд
Кут розсіювання	30°
Колір	зелений
Колір корпусу	прозорий

Оскільки світлодіоди повинні бути закріплені на передній панелі пристрою, то необхідно обрати корпус, що передбачає таку можливість, каталог пропонує декілька типів корпусів. Було прийнято рішення використати данні світлодіоди в корпусі L-934S, світлодіоди виконані в даному корпусі в подальшому можуть бути закріплені в спеціальному тримачі, що захищає світлодіод від зовнішніх факторів. Зовнішній вигляд світлодіодів в даному корпусі показано на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 — Зовнішній вигляд світлодіодів в корпусі L-934S

Розміри корпусу L-934S вказані на рис. 3.7.

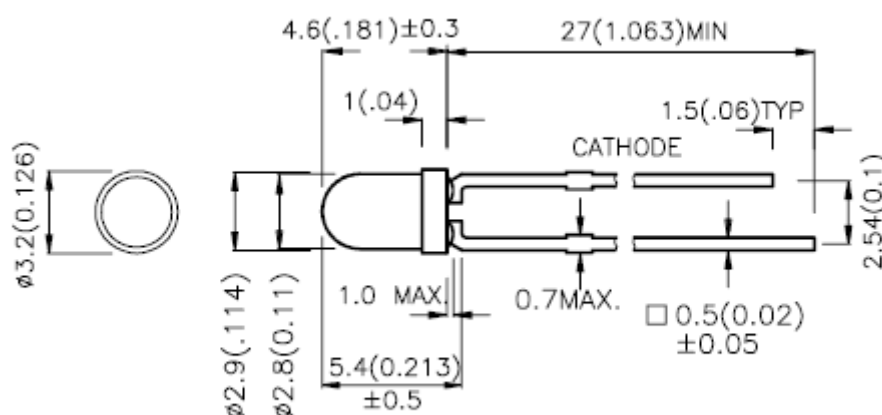


Рисунок 3.7 — розміри корпусу L-934S

3.2.3 Вибір силового ключа

До MOSFET можна застосувати широкий діапазон напруг, струмів і, відповідно, пропускної здатності. Тому потрібно вибрати двигун яким будемо керувати і відповідно до параметрів двигуна підібрати транзистор. Двигун, який я вибрав може обробляти максимум 27А струму. Було вирішено вибрати МОП-транзистор 2SK3069 (макс. 60 А), який може з цим впоратись на випадок, якщо буде піднята потужність двигуна або будуть струмові стрибки під час руху двигуна. Існує також два типи N-каналів і Р-каналів MOSFET. У моїй конструкції H-Bridge всі 6 транзисторів будуть N-типу через те, що МОП-транзистори N-типу мають нижчий "Опір стану" і будуть споживати менше енергії при подачі струму на двигун.

MOSFET-транзистори є найкращими транзисторами для низьковольтних контролерів двигуна. МОП-транзистори відрізняються від інших типів транзисторів зокрема, тим, що вони не мають напруги насичення; натомість вони спроектовані як постійний опір, коли він повністю увімкнений. Багато сучасних MOSFET мають надзвичайно низькі значення опору, і вони можуть бути легко встановлені паралельно для більшої потужності по струму. В результаті в невеликих пакетах контролерів можна досягти дуже високої щільності потужності. Більшість MOSFET мають три доступні термінали (або штирі): затвор, виток та стік. Наявність антипаралельного "діода тіла" вказується на символі; цей діод є частина MOSFET і завжди буде проводити струм від джерела до стоку, якщо напруга джерела вище, ніж у стоку.

Як і будь-який силовий транзистор, функція MOSFET полягає в перетворенні сигналу малої потужності в посилений вихід потужності. Сигнал малої потужності подається на затвор у вигляді позитивної напруги. Ця напруга, яка називається напругою затвора, вимірюється щодо джерела. Коли напруга на затворі становить нижче певного "порогового" значення, або якщо воно від'ємне, опір стоку до джерела стає дуже високим і відповідно струму не протікає. Вище порогової напруги - опір стоку до джерела зменшуватиметься із збільшенням напруги на

затворі. Існує нижня межа опору, що для потужності MOSFET зазвичай досягається, коли напруга на затворі дорівнює 8-10 В.

Це можна побачити на типовому наборі кривих напруги MOSFET, наприклад на (Рис 3.8). ці криві є набором призначений для 2SK3069 MOSFET.

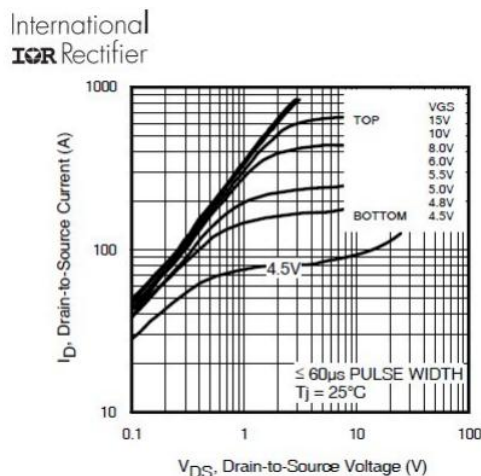


Рисунок 3.8- Криві 2SK3069

Типовий набір кривих напруги MOSFET, що показує, чим вище напруги на затворі 8,0 В вихідний сигнал характеристикою є постійний опір, в даному випадку близько 3 мОм. Актуратною характеристикою MOSFET є те, що їм не потрібно багато струму або потужності, щоб утримуватися в провідному або непровідному стані. Єдиною потужністю, яку споживає транзистор, є струм навантаження, що проходить через невелику величину опору між стоком і джерелом R_{ds} (увімкнено). Однак вони споживають струм і потужність, перебуваючи на етапі "Проміжок часу" під час увімкнення або вимкнення. Це пов'язано з тим, що на затворі є невелика ємність, яку потрібно зарядити або розрядити, щоб перейти з непровідної (відсічної) області в провідну (насичувальну) область і навпаки. Цей струм подається через затвор будь-яким пристроєм або ланцюгом, що застосовує зміщення для ввімкнення та вимкнення транзистора. Залежно від конструкції MOSFET і швидкості, з якою MOSFET перемикається, сила струму може варіюватися від декількох мікро ампер до сотні міліампер і навіть ампер струму.

Таблиця 3.3 — Основні характеристики транзистора 2SK3069

Характеристика	Значення
полярність	N
Максимальна потужність розсіювання з радіатором	100 Вт
гранично допустима напруга стік-витік	60В
Максимально допустимий постійний струм стоку	75 А
Робоча температура	– 40...+150°C
Гранично допустима напруга затвор-витік	20 В
Тип корпусу	ТО-220

Даний MOSFET випускається компанією в декількох корпусах, однак розрахувавши потужність, що виділяється на даному транзисторі, стало зрозуміло, що треба використовувати корпус котрий передбачає можливість встановлення на даний транзистор радіатора, для додаткового відведення тепла. Враховуючи ці вимоги було вирішено використати корпус TO-220AB, зовнішній вигляд якого показано на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 — Зовнішній вигляд транзистора в корпусі TO-220

На рис. 3.10 представлено в корпусі TO-220, всі розміри вказані в міліметрах

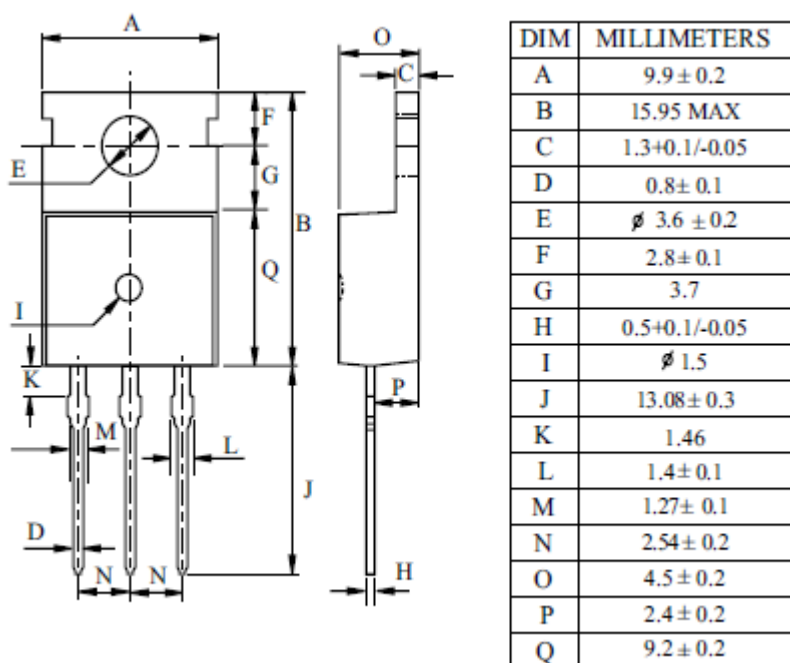


Рисунок 3.10 — Розміри МОП транзистора в корпусі TO-220

3.2.4 Модуль передачі інформації на смартфон

Для забезпечення безпроводного зв'язку між контроллером та телефоном використаємо модуль WiFi ESP-01 с чипом ESP8266EX [18]. Зовнішній вигляд модуля ESP-01 зображений на рис.3.11.

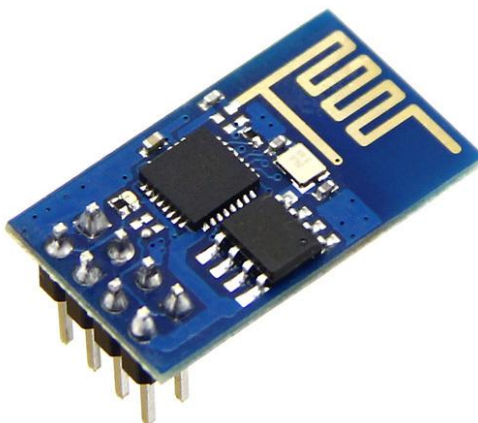


Рисунок 3.11 — Зовнішній вигляд модуля ESP-01

Основні характеристики передавача та приймача модуля ESP-01 наведено в табл.3.4.

Таблиця 3.4 — Основні характеристики ВЧ модуля RF-433

Характеристика	Значення
Напруга живлення	3...5 В
Струм споживання	до 250 мА
Частота	Wi-Fi 802.11 b/g/n 2,4 ГГц
Вихідний інтерфейс:	UART
Вихідна потужність	10 мВт
Габаритні розміри	25×15 мм

3.2.5 Вибір потенціометра

Для можливості регулювання швидкості обертання двигуна використовується потенціометр, на схемі позначений як RV1. Був вибраний потенціометр RK1112N [11]. Даний потенціометр має основні характеристики наведені в табл.3.5.

Таблиця 3.5 — Основні характеристики потенціометра RK1112N

Характеристика	Значення
Діапазон опору	500 Ом...1 МОм
Потужність	50 мВт
Кут повороту	280°
Регулювання	Пластиковий вал

Зовнішній вигляд потенціометра RK1112N зображений на рис.3.12.



Рисунок 3.12 — Зовнішній вигляд потенціометра *RK1112N*

На рис. 3.13 показано розміри потенціометра, всі розміри в міліметрах.

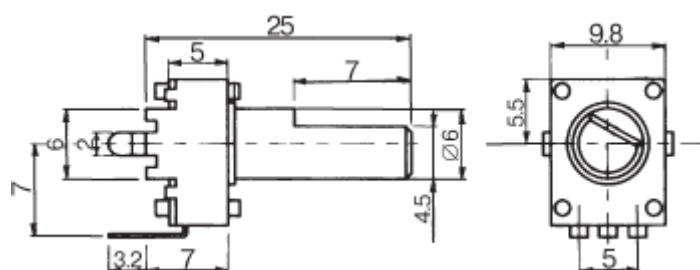


Рисунок 3.13 — розміри потенціометра *RK1112N*

3.2.6 Понижувач напруги

Щоб з більш високої напруги отримати 5В, а згодом 3.3В. При цьому потрібно забезпечити економічність, оскільки джерелом живлення буде акумулятор і його заряд не нескінченний. Можливості організувати тепловідвід так само не буде, схема буде герметизирована. Лінійні стабілізатори напруги, такі як LM7805 і їм подібні, тут не можна використати. Потрібен імпульсний перетворювач DC-DC Converter, тобто понижуючий Step-Down перетворювач напруги. Переваги імпульсного перетворювача очевидні - висока ефективність, не вимагає відводу тепла Існує маса спеціалізованих мікросхем, наприклад LM2574, LM2594, LM267х, LT1073, L4971, ST1S03, AS1333, ST1S03, ST1S06, ST1S09, ST1S10, ST1S12 Вони існують в різних корпусах для різних вихідних напруг і струмів. Вартість таких мікросхем близько 90 грн, однак потрібне надійне і не дороге рішення MC34063 дуже поширена, купити можна без проблем. Вартість всього від 10 грн. Працює з

напругою від 12 до 55 вольт, Максимальний струм 1.5А, частота перетворення 100KHz. Схему такого понижуючого перетворювача я взяв з його документації (рис 3.14).

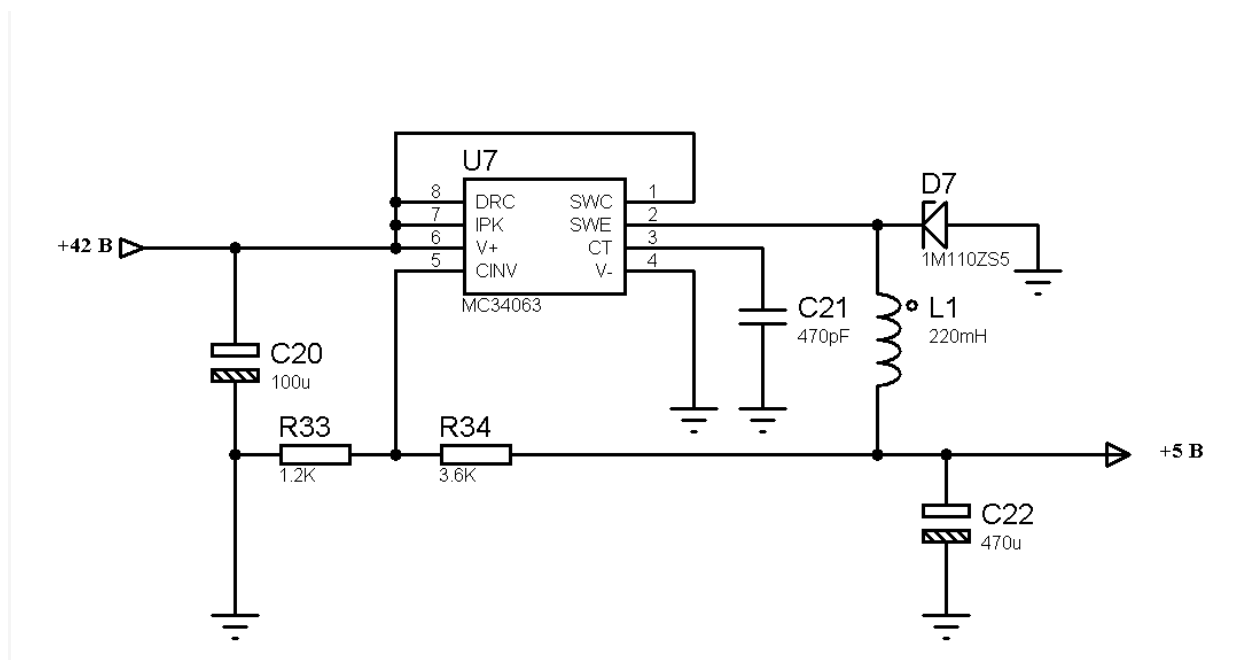


Рисунок 3.14 - Схема DC-DC Step-Down перетворювач напруги

3.2.7 Вибір драйверів ключів

Драйвери ключів було вибрано так, щоб не дозволити можливості одночасного відкриття ключів верхнього та нижнього плеча. Крім того, було потрібно реалізувати тимчасову затримку між закриттям одного ключа та відкриттям іншого. При виході з строю ключів, драйвери ключів повинні блокувати проходження напруги, яка іде до двигуна, в коло мікроконтролері. Тому було використовувати спеціальні мікросхеми драйверів MOSFET ключів.

Якщо включити два однакових польових транзистори паралельно, можна отримати збірку, пропускаючи в 2 рази більший струм. Рекомендується включати затвори транзисторів через резистори номіналом 2-100 Ом. Номінали резисторів вибираються з урахуванням ємкості затвора транзистора, максимального струму, який може забезпечити драйвер ключа та необхідного часу відкриття ключа.

Драйвера ключів використаний IR2101 його характеристики вказані в таб.3.6 . У цього драйвера одна перевага - низька ціна. Один драйвер керує двомісним "N"

канальними транзисторами MOSFET верхніми та нижніми. Потрібно три таких мікросхеми.

Таблиця 3.6 — Основні характеристики Драйвера ключів використаний IR2101

Характеристика	Значення
Напруга живлення	12...55 В
Струм споживання	до 250 мА
Напруга зсуву VOFFSET	не більше 600В
Вихідна напруга драйверів	10-20в
Час вкл. / Викл.	160/150 нс
узгоджена затримка	50нс
Тип корпусу	DIP 8
Розміри	3,94x9,40x6,10мм

Після того як було розроблено структурну схему і вибрано елементну базу було розроблено схему електричнку принципову Додато А .

Висновки

1. В даному розділі було розроблено алгоритм функціонування контроллера
2. Розроблено та описано структурну схему.
3. На основі структурної схеми розроблено схему електричну принципову та почергово описано призначення кожного елемента.
4. Приведено зовнішній вигляд всіх компонентів та їх розмірів для подальшого використання даної інформації при конструюванні.

4 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Конструювання друкованої плати контролера електроскутера

Розроблюваний пристрій буде знаходитися в деці скутера , тому доцільно для компактності використовувати двосторонню одношарову плату з металізацією отворів. Такий вибір друкованої плати доцільно виготовити комбінованим позитивним методом, так як він простий, не потребує складних технологічних процесів та значних затрат. Матеріал плати обрано склотекстоліт фольгований *FR-4* [20]. Клас точності виготовлення плати третій.

Друкована плата буде мати чотири точки кріплення. Точки кріплення будуть знаходитись по краях плати, таке кріплення плат вважається досить надійним і є найпоширенішим.

Спосіб створення друкованої плати комбінованим позитивним методом має наступну послідовність дій. Фоторезистом захищають прогалини. Потім на всю поверхню плати наносять лакову оболонку, свердлять монтажні отвори і виконують хімічне міднення (вся плата покривається тонким шаром міді в декілька мікрон). Хімічним реактивом знімається лакова оболонка, а з нею і мідь (крім того шару, що осів на стінках отворів, оскільки під ним немає лаку). Потім на провідники та контактні майданчики наносять захисний шар металу і усувають фоторезист з захищених місць (прогалин). Оголений шар фольги стравлюють. Таким чином, метод поєднує хімічний метод отримання провідникового рисунку і гальванічний метод металізації отворів. Метод є основним при виготовленні двосторонніх друкованих плат. Застосовують його для багатошарових друкованих плат, для односторонніх ДП з підвищеними вимогами до надійності

4.1.1 Розрахунок площі плати та розмірів

Для початку нам необхідно дізнатися габаритні розміри усіх деталей, які знаходяться на платі. Для зручності проведемо їх класифікацію на малогабаритні (SMD елементи, деякі вивідні елементи), середньо габаритні (невеликі вивідні елементи) та великогабаритні (вивідні елементи, значні за розміром).

Розрахунок площі проведемо за наступною формулою:

$$S_{\text{ДП}} = 1 \cdot \sum S_{\text{мг}} + 1,5 \cdot \sum S_{\text{сг}} + 2(3) \cdot \sum S_{\text{вг}} + S_{\text{кр}} \quad (4.1)$$

де: $S_{\text{ДП}}$ - мінімальна площа друкованої плати; $S_{\text{мг}}$ - площа усіх малогабаритних елементів (до 20 мм²); $S_{\text{сг}}$ - площа усіх елементів, середніх за розмірами (до 100 мм²); $S_{\text{вг}}$ - площа усіх великогабаритних елементів (до 500 мм² коеф. – 2, вище – 3).

У Таблиці 3.1 зведено лінійні розміри, площі як одного елемента, так і сумарна для декількох однотипних.

Таблиця 4.1–Площа елементів.

Елемент	Кількість, шт	Довжина, мм	Ширина (Радіус), мм	Площа одного елемента, мм ²	Сумарна площа всіх елементів, мм ²
Малогабаритні					
<i>C1 – C2, C7, C9 – C10</i>	6	2	1,2	2,4	14,4
L1	1	2	2.5	5	5
Потенціометр <i>RK-1112N</i>	1	2	7	14	14
Середньобагаритні					
Перемикачі	6	3	5,5	16,5	99
<i>C3, C11</i>	2	-	2.5	19.625	39.3
Елемент	Кількість, шт	Довжина, мм	Ширина (Радіус), мм	Площа одного елемента, мм ²	Сумарна площа всіх елементів, мм ²
<i>C4, C12</i>	2	-	2	12,56	25,12
<i>C5, C6, C8, C13</i>	4	-	2.5	19.625	78,5

Світлодіод <i>L-934s</i>	2	5	1	19,63	38
MC34063	1	3,94	9.4	37,036	37.036
Великогабаритні					
C14-C22	8		5.5	25	200
D1-D7	7	2,5	6.3	15,75	110,74
R1-R34	34	2,5	6.3	15,75	126
<i>VT1 – VT6</i>	6	15	10	150	900
<i>Arduino Nano</i>	1	17,8	43,2	768,96	768,96
<i>IR2101</i>	3	3,94	9.4	37,036	111,108
модуль WiFi ESP-01	1	25	15	375	375

Тепер підставимо отримані значення у формулу та порахуємо окремо площу, яку займатимуть компоненти:

$$S_{\text{дп}} = 417,52 + 2 \cdot 686,1 + 3 \cdot 1668,96 \cong 6795 \text{ мм}^2 \quad (4.2)$$

Розміри плати можна взяти і більшими, оскільки плата одношарова, а монтаж елементів виконаний з 2 сторін, відповідно до ГОСТ 25346 і ГОСТ 25347 (100x80 мм). При цьому площа плати буде рівна 8000 мм², що дозволить зробити більш вільний монтаж та ширші силові доріжки, що додатково дозволить підвищити надійність пристрою.

4.1.2 Розрахунок топології плати

Виберемо товщину плати 1,5мм, розміри плати нам відомі - 100x80мм.

Розрахуємо мінімальний діаметр контактної площадки з врахуванням 3 класу точності виконання друкованої плати.

Діаметр монтажного отвору розраховується за формулою:

$$d_{\text{отв}} = d_{\text{в}} + \Delta + \delta_{\text{д}}, \quad (4.3)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр монтажного отвору, мм;

$d_{\text{в}}$ – діаметр максимальний діаметр виводу ЕРЕ, мм;

Δ – відстань між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром $EPE, \text{мм}$;

δ_d – похибка діаметру отвору

Для резисторів:

$$d_{отв}(R1 - R34) = 0,5 + 0,2 + 0,05 = 0,75 \text{ мм.} \quad (4.4)$$

Для діодів:

$$d_{отв}(D1 - D7) = 0,5 + 0,2 + 0,05 = 0,75 \text{ мм.} \quad (4.5)$$

Для конденсаторів:

$$d_{отв}(C4, C12) = 0,6 + 0,2 + 0,05 = 0,85 \text{ мм;} \quad (4.6)$$

$$d_{отв}(C3, C11) = 0,65 + 0,2 + 0,05 = 0,9 \text{ мм;} \quad (4.7)$$

$$d_{отв}(C5 - C6, C8, C13) = 0,65 + 0,2 + 0,05 = 0,9 \text{ мм.} \quad (4.8)$$

$$d_{отв}(C14 - C22) = 0,65 + 0,2 + 0,05 = 0,9 \text{ мм.} \quad (4.9)$$

Для транзистора:

$$d_{отв}(VT1 - VT6) = 0,88 + 0,2 + 0,05 = 1,13 \text{ мм;} \quad (4.10)$$

Для мікросхем:

$$d_{отв}(U1 - U7) = 1,1 + 0,2 + 0,05 = 1,35 \text{ мм} \quad (4.11)$$

4.1.3 Розрахунок ширини провідників друкованого монтажу

Потрібно розрахувати мінімальну ширину провідника, яка буде гарантувати безвідмовну роботу пристрою. Оскільки струм, що може протікати по силовій доріжці плати складає — 27А, мінімальне значення ширини доріжки у вузькому місці визначається за такою формулою

$$t_{1.\min .B} = t_{\min} + |\Delta t_{н.о}| \quad (4.12)$$

де t_{\min} — мінімальне значення номінальної ширини доріжки; $\Delta t_{н.о}$ — допуск на ширину доріжки.

Маючи на увазі обрану точність друкованої плати (третя), маємо такі значення параметрів: $t_{\min} = 0.25 \text{ мм}$, $\Delta t_{н.о} = -0.05 \text{ мм}$.

Підставимо отримані дані у формулу (4.12):

$$t_{1.\min .B} = 0,25 + |-0,05| = 0.3 \text{ мм} \quad (4.13)$$

Тепер розрахуємо мінімальну ширину доріжки у широкому місці. Вона розраховується також за формулою (4.12), але тепер параметри будуть мати такі значення: $t_{min} = 0.45\text{мм}$, $\Delta t_{н.о} = -0.1\text{мм}$.

Підставимо отримані дані у формулу

$$t_{1.min.в} = 0,45 + |-0,1| = 0.55\text{мм} \quad (4.14)$$

Далі визначимо мінімально допустиму ширину доріжки з урахуванням допустимого падіння напруги на ній (3%). Вона визначається за такою формулою:

$$t_{2.min} = \frac{l \cdot I_{max} \cdot p}{h \cdot U_{жив} \cdot 0,03} \quad (4.15)$$

де l — довжина провідника; I_{max} — максимальний струм у колі; p — питомий опір провідника; h — товщина фольги; $U_{жив}$ — напруга живлення.

Використовуючи данні розраховані у попередніх пунктах, маємо такі значення параметрів: $l = 400\text{мм}$, $I_{max} = 27\text{А}$, $p = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ — питомий опір міді, $h = 35\text{мкм}$, $U_{жив} = 54 \text{ В}$.

Підставимо отримані дані у формулу

$$t_{2.min} = \frac{0,4 \cdot 27 \cdot 0,0175}{0,035 \cdot 54 \cdot 0,03} = 3,18\text{мм} \quad (4.16)$$

Наступним кроком буде розрахунок мінімально допустимої ширини доріжки з урахуванням допустимого струму, що протікає крізь неї. Вона визначається за наступною формулою

$$t = \frac{I}{j_{доп} \cdot \delta}, \quad (4.17)$$

де $j_{доп.} = 20 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ для друкованого провідника, $\delta = 35\text{мкм}$, товщина металізації.

Знайдемо мінімально допустиму ширину доріжки, виходячи зі допустимого струмового навантаження у ній. Для струмової ланки максимальний струм не перевищує 27 А. Тоді:

$$t_{min} = \frac{I}{j_{доп} \cdot \delta} = \frac{27}{20 \cdot 0,035} = 28 \text{ мм}. \quad (4.18)$$

4.1.4 Розрахунок зазорів між елементами друкованого монтажу

Розрахунок мінімального зазору між елементами друкованого монтажу проводиться за такою формулою

$$S = S_m + \Delta t_{\text{с.о}} \quad (4.19)$$

де S_m — мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами; $\Delta t_{\text{с.о}}$ — допуск на ширину провідника. Опираючись на обраний клас точності маємо такі значення параметрів $S_m = 0,25 \text{ мм}$, $\Delta t_{\text{с.о}} = 0,1 \text{ мм}$

Підставимо дані у формулу(4.19):

$$S = 0,25 + 0,1 = 0,35 \text{ мм} \quad (4.20)$$

Для надійності було обрано значення 0,5 мм.

4.1.5 Трасування друкованих плат в середовищі Altium Designer

Розроблення друкованої плати було проведено в системі автоматизованого проектування *Altium Designer* [19] В даному середовищі були задані правила проектування, які були розраховані в попередніх пунктах.

На рис.4.1 показано показано трасування друкованої плат

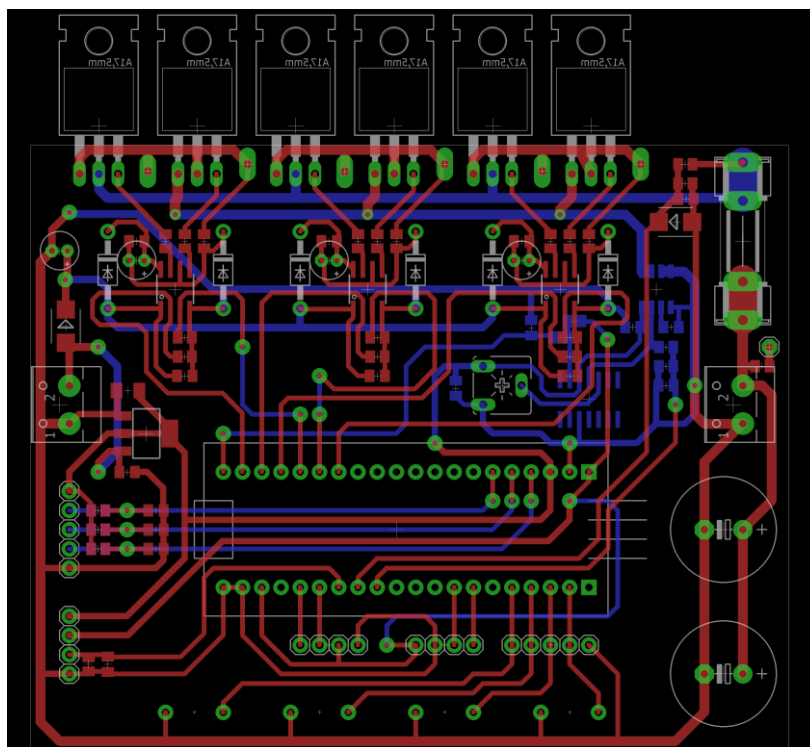


Рисунок 4.1 — Трасування ДП контролера

На рис. 4.2 показано 3D вид спроектованої друкованої плати контролера

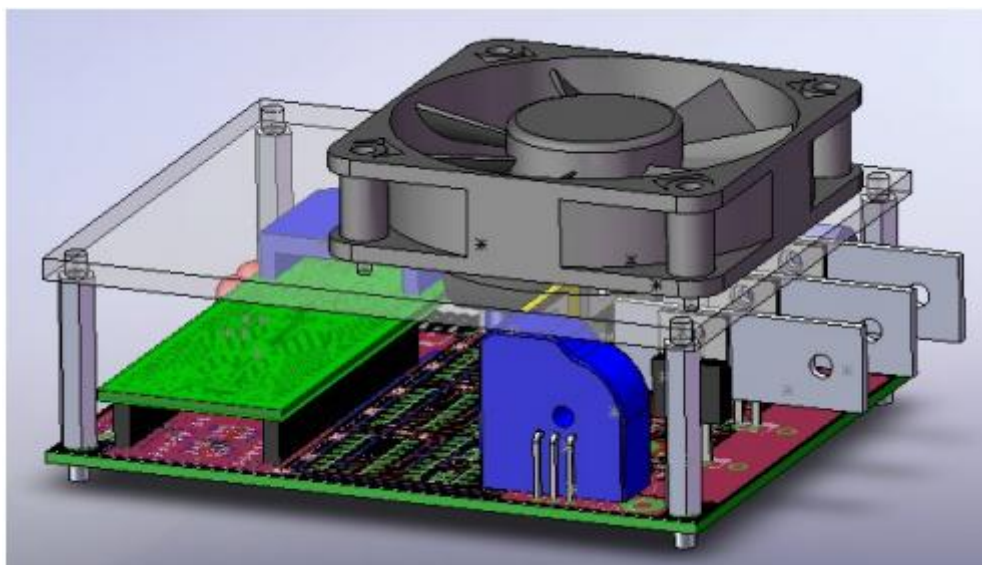


Рисунок 4.2 — 3D вид друкованої плати контролера

4.2 Розрахунки, що підтверджують працездатність

4.2.1 Механічні розрахунки

Оскільки пристрій встановлюється в деці скутера, періодично на нього буде здійснюватися механічний вплив тому доцільно буде провести наступні розрахунки.

У цьому підрозділі буде виконано розрахунок віброміцності друкованої плати[21]. У розрахунок буде визначено частоту власних коливань плати та порівняно із максимальною частотою віброколивань.

Необхідні дані для розрахунків:

- довжина плати: $a = 100 \text{ мм}$;
- ширина плати: $b = 80 \text{ мм}$;
- товщина: $h = 1.5 \text{ мм}$;

Матеріал друкованої плати склотекстоліт марки FR-4-35 з параметрами:

- модуль пружності: $E = 3.02 \cdot 10^{10} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;
- щільність: $\rho = 2.05 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- коефіцієнт Пуассона: $\xi = 0.22$.

Маса встановлених на платі елементів: $M = 0.1 \text{ кг}$;

Визначимо приведену масу друкованої плати:

$$m_n = \rho \cdot h = 2.05 \cdot 10^3 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3} = 3.075 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}; \quad (4.21)$$

Розрахуємо приведену масу плати з деталями:

$$m = m_n + m_c = m_n + \frac{M}{a \cdot b} = 3.075 + \frac{0.1}{0.1 \cdot 0.08} = 15.975 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}; \quad (4.22)$$

Визначимо циліндричну жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \xi^2)} = \frac{3.02 \cdot 10^{10} \cdot (1.5 \cdot 10^{-3})^3}{12 \cdot (1 - 0.22^2)} = 8.926 \text{ Нм} \quad (4.23)$$

Визначаємо значення функції $\varphi(\beta)$ для кріплення плати у чотирьох точках:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{1 + 1.621 \cdot \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1.621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}} \quad (4.24)$$

де: $\beta = a/b = 0.08/0.1 = 0.8$ - коефіцієнт, що залежить від співвідношення

довжини та ширини друкованої плати.

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{1 + 1.621 \cdot \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1.621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}} = \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{1 + 1.621 \cdot \frac{0.22}{0.8} + \frac{1}{0.8^2}}{1 + 1.621 \cdot \frac{1}{0.8^3} + \frac{1}{0.8^6}}} = 4.96 \quad (4.25)$$

Далі визначаємо значення резонансної частоти плати із наступної формули:

$$f_{\text{рез}} = \frac{\varphi(\beta)}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}} = \frac{4.96}{2 \cdot \pi \cdot 0.1^2} \cdot \sqrt{\frac{8.926}{15.97}} = 55.96 \text{ Гц} \quad (4.26)$$

Отже, як бачимо, резонансна частота коливань плати нижча за частоту вібраційних впливів (60 Гц). Тому обраний варіант кріплення плати цілком влаштовує нас з точки зору міцності.

4.3 Збір та аналіз даних в реальному часі

Одна з найважливіших характеристик контролера двигуна, призначеного для скутера - це інтегрований збір даних. Це також особливість, яка чітко відокремлює контролер, розроблений для цього дослідження з комерційно доступних варіантів. Дуже мало готових контролерів мають можливості для збору даних, а ті, що мають як правило, дорогі. Інший варіант додати датчики та можливість збору даних до

існуючого контролера двигуна, але в у багатьох випадках це зайве, а також впливає на вартість. Розглянемо різні параметри, які націлені на систему збору даних для оцінки двигуна або і системи управління вцілому :

- Системні напруги. Більшість контролерів двигуна вже мають деякі положення для вимірювання напруга акумулятора, навіть якщо вони використовують його лише як попередження про низький рівень заряду акумулятора або відключення. Крім того, контролер вже "знає" напругу, що виводиться на різні фази двигуна, оскільки він керує сигналом ШІМ.

- Системні струми. Не всі контролери двигуна мають функцію вимірювання струму. Звичайно, контролери, які здійснюють контроль струму, мають вбудований датчик струму BLDC управління, одного датчика струму може бути достатньо. Для визначення трифазного струму змінного струму контролю, потрібно щонайменше два датчики. Третій струм повинен заповнювати нульову суму.

- Швидкість двигуна. У випадку безщіткових двигунів, які є синхронними, швидкість двигуна також вже «відомий» контролером. Це повинна бути електрична частота, поділена на кількість пар полюсів. Додатковий кодер або тахометр не потрібні в більшість випадків.

Ці вимірювання, які більшість контролерів і так вже роблять, складають основу аналіз потужності, який можна використовувати для оцінки продуктивності двигуна. В випадку розробки модулю контролера дозвіл для зберігання цих даних - це простий крок, який не вимагає додаткового обладнання.

4.3.1 Інтегрований збір даних

Контролер дослідження має вбудований бездротовий збір даних. Спочатку, може здається складнішим через вимогу бездротової передачі даних, цей спосіб насправді може бути значно менш громіздким, ніж інтегрування бортового сховища даних. Контролер використовує один цифровий приймач-передавач 2,4 ГГц, (рис 4.3) , для передачі даних. Цей трансивер ESP-01 з чипом ESP8266EX може передавати інформацію на відкритому повітрі / на прямій ділянці до 1 км.

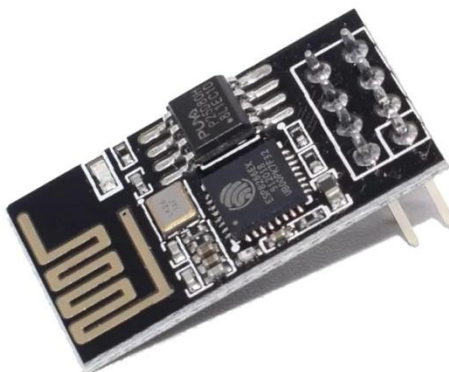


Рисунок 4.3- Приймач-передавач 2,4 ГГц, інтегрований у контролер двигуна .

Дані отримує смартфон або ідентичний модуль 2,4 ГГц, який підключений до мобільного ПК через USB. А програма, що працює на форматах ПК або Android ОС, відображає дані в режимі реального часу та архівує їх для подальшої обробки. Очевидною перевагою для контролера є усунення вбудованого сховища, такого як Жорсткий диск, який займе додатковий простір і не буде стійким до вібрацій. Менше очевидною перевагою позаплатного зберігання даних є сценарій «чорної скриньки»: дані про катастрофічну помилку в контролері все одно отримуються. При прототипуванні, де дані часто важливіші за компоненти, це не приведе до повної втрати. Для стаціонарних тестування платформ контролер також може підключатися до ПК безпосередньо через USB. Однак жодна суттєва перевага у достовірності даних цим не досягається. На близькій відстані 2,4 ГГц трансивери дуже надійні.

Контролер можна програмувати також бездротово, тому можна тестувати та налагоджувати систему без фізичного доступу до контролера. Оскільки приймачі-передавачі 2,4 ГГц можуть як надсилати, так і приймати дані, посилення також може використовуватися для контролю.

4.3.2 Візуалізація та аналіз даних

У режимі реального часу та після обробки Дані контролера обробляються поза платою, мобільним або настільним ПК. Для цього було розроблено два кейси, один для компютера інший для смартфона. Для демонстрації в режимі реального часу створено прості графічні інтерфейси користувача для можливості візуалізації. На рис. 4.4 показано вікно графічного інтерфейсу ПК. Він повністю текстовий, просто відображення відформатованих значень даних у правильних одиницях

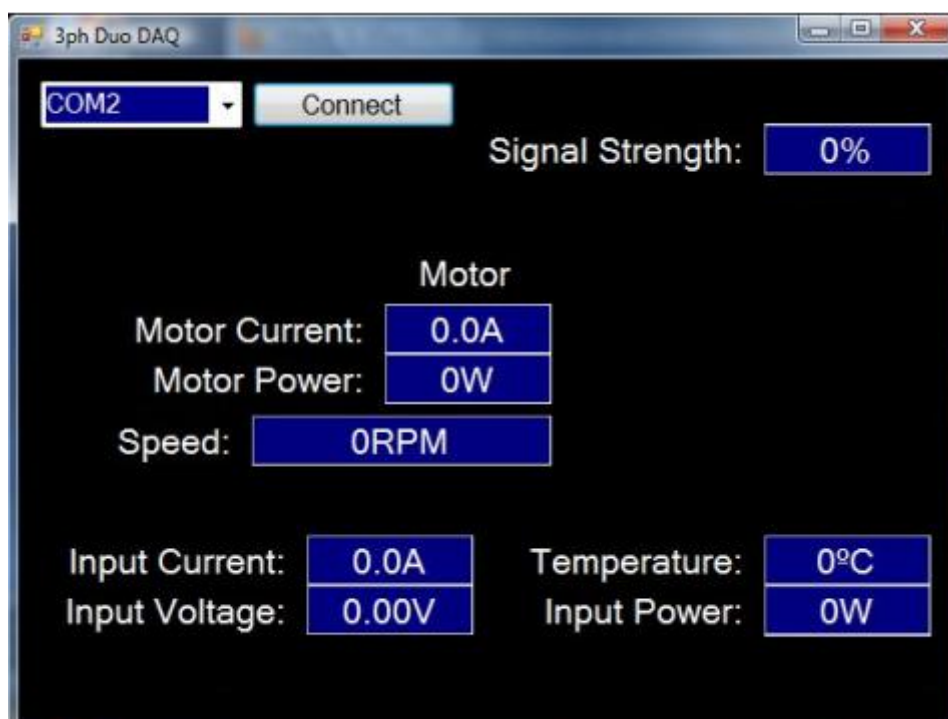


Рисунок 4.4- графічний інтерфейс користувача для ПК

Де відповідно:

- Signal strength- Сила сигналу
- Motor Current-Струм мотору
- MotorPower- Потужність мотору
- Speed- Швидкість обертання двигуна
- Input Current- Вхідний струм з батареї
- Input Voltage- Вхідна напруга з акумулятора
- Temperature-температура
- Input Power- Потужність акумулятора

На рис 4.5 показано вікно графічного інтерфейсу смартфона.



Рис 4.5- Графічний інтерфейс смартфону

Можлива низка більш цікавих або графічних візуалізацій даних. Інтерфейси користувача, розроблені для контролера, які відображають всі виміряні та отримані дані в режимі реального часу зі швидкістю оновлення 20 Гц. Цей же інтерфейс також зберігає дані у текстовому файлі, розділеному комами, попередньо перетвореному у відповідний одиниці. Цей тип файлів можна імпортувати в Excel, MATLAB та інші засоби аналізу.

Завершальним етапом створення моделі є розробка файлу-лістингу програми. Для цього використовуємо програмне середовище PlatformIO [17] де виберемо платформу Arduino nano ATmega168 (рис 4.6).

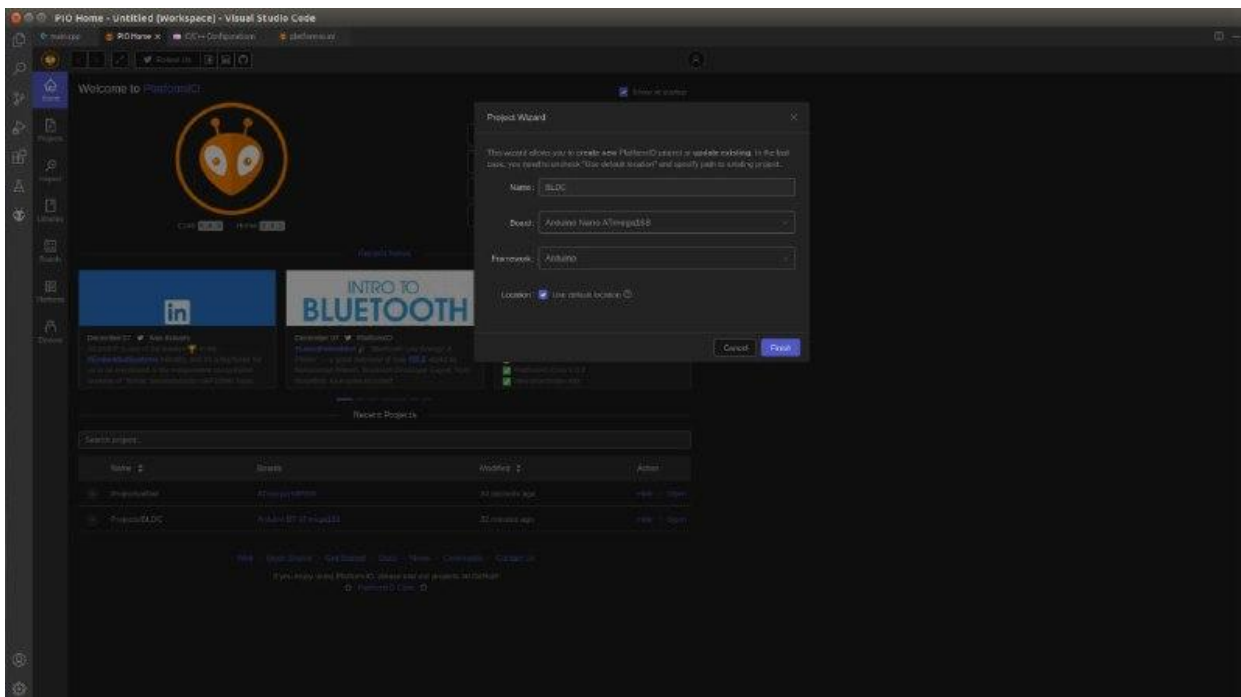


Рисунок 4.6- середовище PlatformIO

Після написання коду виконуємо компіляцію для перевірки його працездатності. Результати перевірки зображено на рис 4.7.

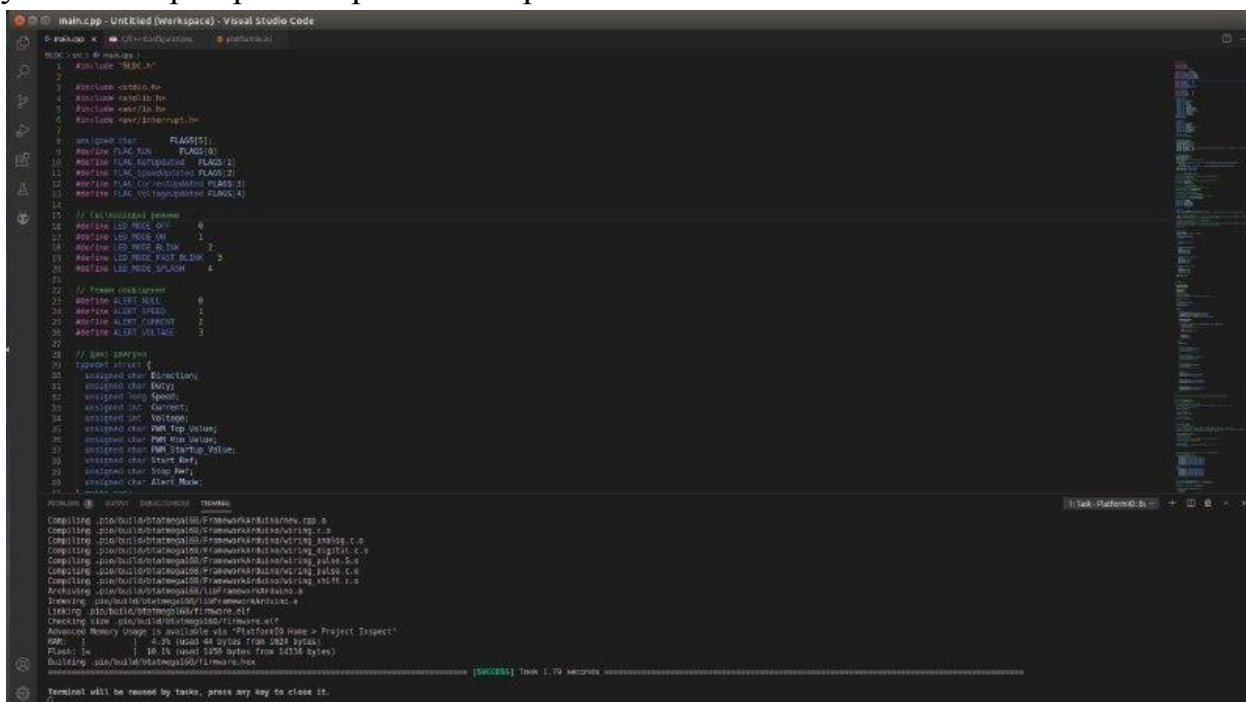


Рисунок 4.7 — Результати перевірки коду програми

Файл-лістинг програми наведений в додатку Б.

Висновки

Наведено конструкторські розрахунки які дали можливість визначити розміри плати та інші характеристики для того щоб розробити друковану плату контролера двигуна електричного скутера.

Дану плату було вирішено виготовити комбінованим позитивним методом. Трасування плати було проведено системі автоматизованого проектування Altium Designer.

Наведене розрахунки як підтверджують працездатність плати.

Створено програми для Arduino nano на базі мікроконтролера ATmega168 в програмному середовищі PlatformIO.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

5.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників табл. 4.1.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення контролеру для керування BLDC з передачею інформації про стан двигуна на смартфон	Власний проект по створенню електро байка	Надійний контролер з великим функціоналом та за низьку ціну
	Комерційний	

5.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників порівняно із пропозиціями конкурентів.

Конкурентами є аналогічні моделі, представлені на ринку. Основною відмінністю є здешевлення виробу, за рахунок використання сучаснішої елементної бази, можливість розширення функціоналу та змога більш конкретного налаштування пристрою до вимог користувача. Більш детально переваги та техніко-економічні характеристики наведені в табл. 5.2.

Довгостроковими перспективами є:

- збільшення кількості клієнтів, що будуть використовувати запропоновані прилад;

- подальше розширенні функціоналу та вдосконалення пристрою.
- Потреби в стартовому фінансуванні:
- Стартовий капітал = 3000 ум.од.

Таблиця 5.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характери- стики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конку- рент1	Конку- рент2	Конку рент3			
1.	Бюджетне фінансування	розробка за рахунок роз робника	розробка за рахунок розробника ве	розробка за рахунок розробника	розро бка за раху- нок розро- бника	відсут- ність фінан- сування	-	бю- джетне фінан- суван- ня
2.	Викорис- тання су- часної те- хніки	викорис- товуєть- ся сучасна техніка	викорис- товується застаріла техніка	Викори- стову-ється техніка застарі-лої кон-фігурації	використовується сучасна техніка	-	-	сучасна комплектація техні-кою

3.	Налого- джена сис- тема рек- лами про- дукту	продукт не рек- ламуєть- ся	є реклама	є реклама	є реклама	-	-	Економія на рекламі
----	--	--------------------------------------	-----------	-----------	-----------	---	---	------------------------

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових табл. 5.3:

Таблиця 5.3 — Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка системи управління BLDCM на базі мікроконтролера	Технологія 1 (технологія на дання послуги)	Потрібно розробити	Так
2		Технологія 2 (наявність бази досліджень)	Потрібно розробити	Ні
		Технологія 3 (база проведення досліджень (випробувань))	Потрібно розробити	Доступні
		Технологія 4 (оформлення результатів досліджень)	Потрібно розробити	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Технологія 2				

5.4 Розроблення маркетингової програми

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, яку отримає споживач. Для цього у табл.5.4 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.4 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключеві переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення ефективності застосування апаратури	Нові області застосування мікроконтролерів Arduino	Високий рівень ефективності застосування
2	Оптимізація програмного продукту для збільшення швидкості, точності та адекватності контролю двигуном	Продуктивність та точність застосування	Високий рівень продуктивності застосування
3	Рациональний вибір технічних характеристик апаратури і науково-обґрунтованого вибору параметрів впливу	Зниження вартості та доступність застосування	Стійкість застосування

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару з метою уточнення ідеї продукту, його фізичних складових, особливостей його надання табл. 5.5.

Таблиця 5.5 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар, її основної функціональної вигоди
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	Нові області застосування мікроконтролерів Arduino; Зниження вартості та доступність
	Підвищення ефективності застосування апаратури
III. Товар із підкріпленням	До продажу — рівень розробки
	Після продажу — низка методів та алгоритмів
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності	

Варто відзначити, що товар буде захищено від копіювання за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності). Наступним кроком визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційних товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансовоекономічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товарианалоги або товари-субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів табл.5.6.

Таблиця 5.6 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замін- ники	Рівень цін на то- вори аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлен- ня ціни на то- вар/послугу
1	7000 грн.	9000 грн.	6000	700-1500 грн

Визначимо оптимальну систему збуту табл.5.7.

Таблиця 5.7 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівель- ної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має вико- нувати поста- чальник товару	Глибина ка- налу збуту	Оптимальна система збуту
1	Мінімальна кількість посередників	Організовувати широку мере- жу збуту това- ру	3	Непряма

В якості останньої складової маркетингової програми розробимо концепцію маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів табл. 5.8.

Таблиця 5.8 — Концепція маркетингових комунікацій

№ п/ п	Специфіка по- ведінки цільових клієнтів	Канали ко- мунікацій, якими ко- ристуються цільові клієнти	Ключові по- зиції, обрані для пози- ціонування	Завдання рекламно- го по- відомлен- ня	Концепція рекламного звернення
1	Нові області застосування мікроконтро- лерів	Електро- транспорт	Нові області застосування мікроконтро- лерів	Донести переваги до потен- ційних ко- ристувачів	Основна ідея стартаппро- екту
2	Продуктив- ність та точ- ність застосу- вання	Електро- транспорт	Продуктив- ність та точ- ність	Донести переваги до потен- ційних ко- ристувачів	Основна ідея стартаппро- екту
3	Зниження вар- тості та досту- пність	Електро - транспорт	Зниження ва- ртості та дос- тупність	Донести переваги до потен- ційних ко- ристувачів	Основна ідея стартаппро- екту

Висновки

В даному розділі проведено аналіз та розробку бізнес-проекту до розробки стартап проекту. На основі проведеного аналізу варто відзначити, що найбільш негативний вплив на діяльність стартаппроекту на ринку чинить ринкове середовище. Було визначено, що найбільшою загрозою для розробки стартаппроекту є загроза падіння прибутковості внаслідок скорочення попиту.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу існуючих контролерів для BLDC визначено, що існує необхідність створення такого контролера, який був би менш габаритним, ефективнішим, більш дешевшим, більш функціональним. Для цього було проаналізовано принцип його роботи та технічні рішення, що забезпечують відповідність поставленим вимогам. Запропонована схема яка включає в себе модуль бездротового зв'язку з смартфоном

Схему пристрою було покращено завдяки використанню мікроконтролера Arduino, що дає можливість змінювати та налаштовувати пристрій для потреб користувача та при необхідності доповнити та розширити функціональні можливості.

В ході розробки були розраховані усі необхідні параметри дизайну друкованої плати (зазори між силовими елементами, необхідні геометричні розміри, розмірів топологічних елементів,) згідно до IPC-2221.

Плати спроектовані з використанням САПР Altium Designer мають такі параметри:

- розміри: 100 x 80 x 1,5 мм
- матеріал: склотекстоліт FR-4;
- металізація: двохстороння 35мкм.

Таким чином, в процесі виконання магістерської роботи розроблено контролера на базі мікроконтролера Arduino, який використовується в електротранспорті, а також завдяки його вологозахищеності можливе використання в інших сферах діяльності.

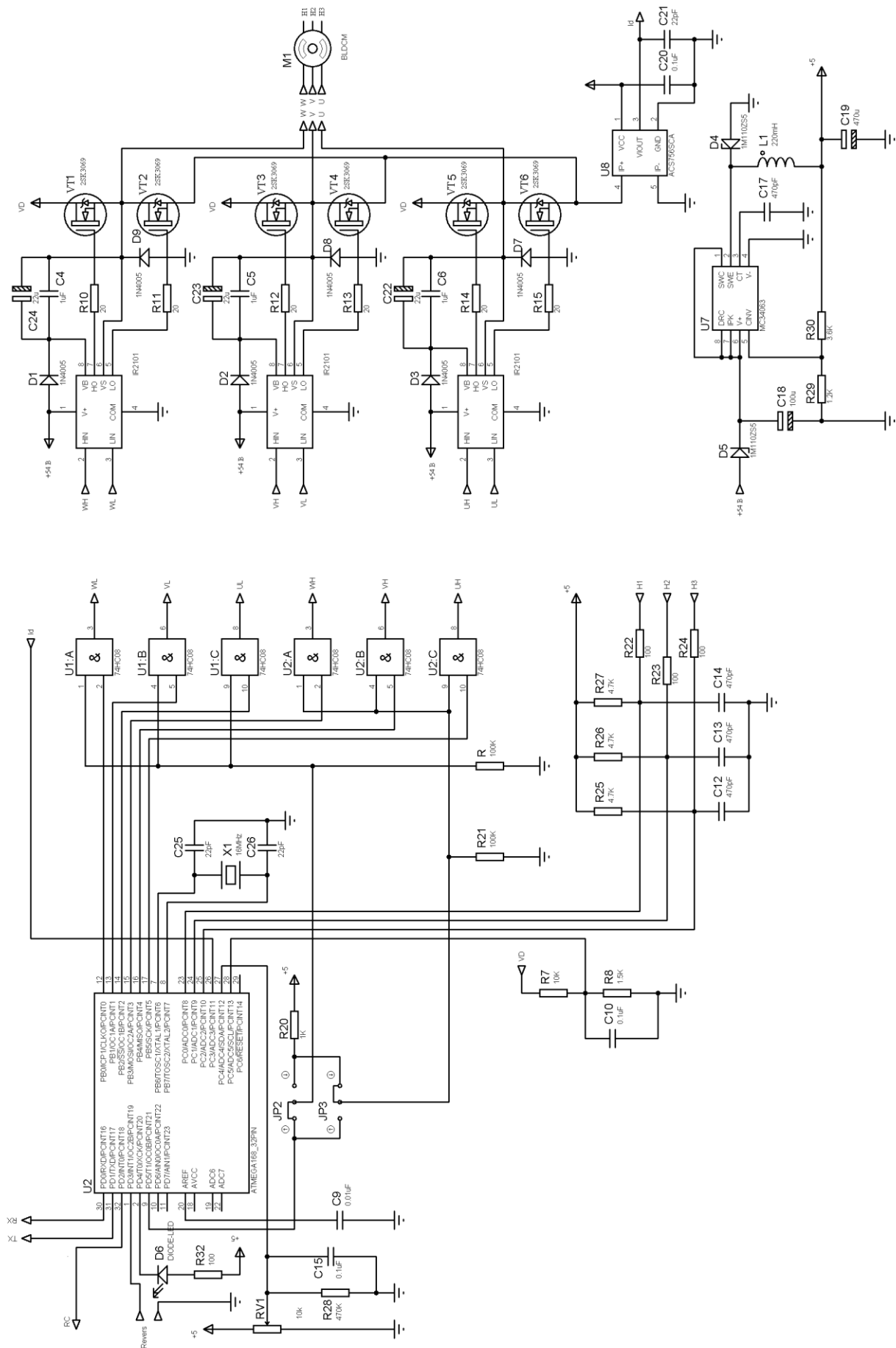
В результаті проведеного дослідження ринку та порівняння з існуючими аналогами, зроблено висновок щодо високої комерційної придатності контролера та доведено можливість комерційно успішної реалізації пристрою (орієнтовна вартість 1500грн).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Электродвигатели: какие они бывают [электронный ресурс]. — https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/371749/— назва з екрану
2. Современные бесколлекторные двигатели постоянного тока [электронный ресурс]. — <http://electricalschool.info/elprivod/2231-sovremennye-beskollektornye-dvigateli-postoyannogo-toka.html> — назва з екрану
3. Automotive Motor Control System [электронный ресурс]. — <https://www.embitel.com/blog/embedded-blog/motor-control-system-for-blDC-motors-in-automotive-application> — назва з екрану
4. Chang-liang Xia, Permanent magnet brushless dc motor drives and controls/ Chang-liang Xia. - John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2012. – 282 p.
5. Датчики Холла [электронный ресурс]. — <https://www.asutpp.ru/chto-takoe-datchik-holla.html> — назва з екрану
6. Brushless DC Motor Fundamentals by Microchip [электронный ресурс]. — <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00885a.pdf> — назва з екрану
7. . All About BLDC Motor Control [электронный ресурс]. — [https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/sensorless-brushless-dc-blDC-motor-control/#:~:text=Sensorless%20BLDC%20motor%20control—sometimes,stator%20\(the%20stationary%20part\).](https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/sensorless-brushless-dc-blDC-motor-control/#:~:text=Sensorless%20BLDC%20motor%20control—sometimes,stator%20(the%20stationary%20part).) — назва з екрану.
8. ALL ABOUT BACK-EMF MOTION CONTROL [электронный ресурс]. — <https://acroname.com/blog/all-about-back-emf-motion-control> — назва з екрану
9. BLDC motor [электронный ресурс]. — <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN4776.pdf>— назва з екрану.
10. REGENERATIVE BRAKING IN AN ELECTRIC VEHICLE [электронный ресурс]. — http://www.komel.katowice.pl/ZRODLA/FULL/81/ref_20.pdf — назва з екрану

11. BLDC Motor Control [електронний ресурс]. — Algorithms
<https://www.renesas.com/jp/en/application/home-building/motor-control-solutions/motor-algorithms/bldc> — назва з екрану
12. Back EMF in DC Motor [електронний ресурс]. — <https://circuitglobe.com/what-is-back-emf-in-dc-motor.html> — назва з екрану
13. BLDC motor and controller theory [електронний ресурс]. — режим доступу: <https://hackaday.io/project/3176-gator-quad/log/11053-blDC-motor-and-controller-theory> — назва з екрану.
14. Speed control with potentiometer [електронний ресурс]. — режим доступу: <https://simple-circuit.com/arduino-sensorless-brushless-motor-blDC/> — назва з екрану.
15. H-мост и схема работы для управления двигателями [електронний ресурс]. — режим доступу: <https://arduinomaster.ru/uroki-arduino/shema-raboty-n-mosta-dlya-upravleniya-dvigatelyami/> — назва з екрану.
16. Arduino nano [електронний ресурс]. — режим доступу: <http://arduino.ru/hardware/arduino-boardnano> — назва з екрану.
17. PlatformIO [електронний ресурс]. — режим доступу: <https://alexgyver.ru/platformio-zamena-arduino-ide/> — назва з екрану.
18. WiFi ESP8266 в проектах Arduino [електронний ресурс]. — режим доступу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/arduino-esp8266/> — назва з екрану.
19. SOLIDWORKS Flow Simulation. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation> — назва з екрану.
20. Проектування друкованої плати. Навчально-методичний посібник для студентів радіотехнічних спеціальностей. Київський радіомеханічний технікум/ [коваленко м. М] — к.:1998. — 26 с.: іл.
21. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств/[баканов г. Ф., соколов с. С., схудольский в. Ю.] Под редакцией и.г. мироненко. М.: издательский центр "академия", 2007. — 308с.

Додаток А



Додаток Б

Код програми

```

#include "BLDC.h"
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
unsigned char          FLAGS[5]
#define FLAG_RUN          FLAGS[0];
#define FLAG_RefUpdated  FLAGS[1];
#define FLAG_SpeedUpdated  FLAGS[2];
#define FLAG_CurrentUpdated  FLAGS[3];
#define FLAG_VoltageUpdated  FLAGS[4];

// Світлодіодні режими
#define LED_MODE_OFF          0
#define LED_MODE_ON          1
#define LED_MODE_BLINK       2
#define LED_MODE_FAST_BLINK  3
#define LED_MODE_SPLASH      4

// Режим оповіщення
#define ALERT_NULL            0
#define ALERT_SPEED          1
#define ALERT_CURRENT        2
#define ALERT_VOLTAGE        3

// Дані двигуна
typedef struct {
    unsigned char    Direction;
    unsigned char    Duty;
    unsigned long    Speed;
    unsigned int     Current;
    unsigned int     Voltage;
    unsigned char    PWM_Top_Value;
    unsigned char    PWM_Min_Value;
    unsigned char    PWM_Startup_Value;
    unsigned char    Start_Ref;
    unsigned char    Stop_Ref;
    unsigned char    Alert_Mode;
} motor_var;
motor_var Motor;

// НАЛАШТУВАННЯ
typedef struct {
    unsigned char    DutyDamper;
    unsigned char    Magnets;
    unsigned char    PWM_Startup; // (%)
    unsigned char    PWM_Min; // (%)
    unsigned char    Voltage_Min;
    unsigned char    Current_Max;
    unsigned char    DeadTime; //
} motor_settings;
motor_settings Settings;

// Стандартні налаштування
void DefaultSettings() {
    Settings.DutyDamper = 250;
    Settings.Magnets = 12;
    Settings.PWM_Startup = 25;
    Settings.PWM_Min = 10;
    Settings.Voltage_Min = 10;
    Settings.Current_Max = 180;
}

```

```

    Settings.DeadTime = 2;
}

// Попередньо встановлені дані двигуна
void PrepareSettings() {
    Motor.Direction = CCW;
    Motor.Duty = 0;
    Motor.PWM_Top_Value = PWM_TOP_VALUE_16K;
    // ШИМ-СТАРТ
    Motor.PWM_Startup_Value = (unsigned char)
    ((Settings.PWM_Startup*Motor.PWM_Top_Value)/100);
    // ШИМ-СТОП
    Motor.PWM_Min_Value = (unsigned char)
    ((Settings.PWM_Min*Motor.PWM_Top_Value)/100);
    Motor.Start_Ref = POT_START_REF;
    Motor.Stop_Ref = POT_STOP_REF;
}
unsigned char duty_damper_counter;

// Масив ступеня включення сигналів для кожного кроку комутації
unsigned char driveTable[6];

// Масив вибору каналів АЦП для кожного кроку комутації
unsigned char ADMUXValue;
unsigned char ADMUXIndex=0;
unsigned int timeSinceCommutation;

// АЦП зчитування зовнішнього аналогового опорного значення швидкості
volatile unsigned char speedReference;

// АЦП зчитування шунтуючої напруги.
volatile unsigned char currentVoltageADC;

// Зчитування АЦП відомої зовнішньої опорної напруги
volatile unsigned char batteryVoltageADC;

unsigned char LED_Mode;
unsigned char LED_Enabled;
unsigned char LED_ON_Time;
unsigned char LED_OFF_Time;
unsigned char LED_Counter;

// Читання АЦП
unsigned char adc_read(unsigned char ch) {
    ADMUX = (1 << REFS0) | (1 << ADLAR) | (ch & 0x1F);    // set channel (VREF =
VCC) , left align, channel
    // Початок першого перетворення АЦП
    ADCSRA = (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (0 << ADATE) | (0 << ADIF) | (0 << ADIE) | (0 <<
ADPS2) | (1 << ADPS1) | (0 << ADPS0);
    while(ADCSRA & (1 << ADSC));    // чекаємо завершення перетворення
    ADCSRA = (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (0 << ADATE) | (0 << ADIF) | (0 << ADIE) | (0 <<
ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
    while(ADCSRA & (1 << ADSC));    // чекаємо завершення перетворення

    return ADCH;
}

// Встановити світлодіодний режим
void Set_LED_Mode(unsigned char mode) {
    LED_Mode = mode;
    if (mode==LED_MODE_OFF) {
        LED_OFF;
    }
}

```

```

    if (mode==LED_MODE_ON) {
        LED_ON;
    }
    if (mode==LED_MODE_BLINK) {
        LED_ON;
        LED_Enabled = TRUE;
        LED_ON_Time = 200;
        LED_OFF_Time = 200;
    }
    if (mode==LED_MODE_FAST_BLINK) {
        LED_ON;
        LED_Enabled = TRUE;
        LED_ON_Time = 20;
        LED_OFF_Time = 20;
    }
    if (mode==LED_MODE_SPLASH) {
        LED_ON;
        LED_Enabled = TRUE;
        LED_ON_Time = 20;
        LED_OFF_Time = 200;
    }
    LED_Counter = 0;
}
int main(void)
{
    DefaultSettings();
    PrepareSettings();
    InitPorts();
    InitTimers();
    MakeTables();
    PCICR |= (1<<PCIE1);
    PCMSK1 |= (1<<PCINT8) | (1<<PCINT9) | (1<<PCINT10);
    FLAG_RUN = FALSE;
    sei();
    Set_LED_Mode(LED_MODE_ON);
    speedReference = 0;
    for(;;)
    {
        // Двигун
        if (FLAG_RUN == FALSE) {
            currentVoltageADC = adc_read(ADMUX_CURRENT);
            speedReference = adc_read(ADMUX_SPEED_REF);
            batteryVoltageADC = adc_read(ADMUX_BATTERY_VOLTAGE);
            CalculateCurrent();
            CalculateVoltage();
            Motor.Speed = 0;
            if ((Motor.Alert_Mode ==0) &
(speedReference > Motor.Start_Ref)) {
                if (BTN_IS_DOWN) {
                    Motor.Direction = CW;
                }
                else {
                    Motor.Direction = CCW;
                }
                MakeTables();
                StartMotor();
                FLAG_RUN = TRUE;
            }
        }
        else {
            PWMControl();
        }
    }
}

```

```

// Поточний розрахунок
if (FLAG_CurrentUpdated == TRUE) {
    //CalculateCurrent();
    FLAG_CurrentUpdated = FALSE;
}

// Розрахунок напруги
if (FLAG_VoltageUpdated == TRUE) {
    //CalculateVoltage();
    FLAG_VoltageUpdated = FALSE;
}

// Обчислення швидкості
if (FLAG_SpeedUpdated == TRUE) {
    //CalculateSpeed();
    FLAG_SpeedUpdated = FALSE;
}

// Сповіщення
// Обмеження швидкості
if (Motor.Alert_Mode == ALERT_SPEED) {
    ALARMStopMotor(LED_MODE_SPLASH);
}

// Поточний ліміт
if (Motor.Alert_Mode == ALERT_CURRENT) {
    ALARMStopMotor(LED_MODE_FAST_BLINK);
}

// Межа напруги
if (Motor.Alert_Mode == ALERT_VOLTAGE) {
    ALARMStopMotor(LED_MODE_BLINK);
}
}

// Ініціалізує порти вводу-виводу
static void InitPorts(void)
{
    // Вхід DRIVE_DDR для керування двигуном.
    DRIVE_DDR = (1 << UL) | (1 << UH) | (1 << VL) | (1 << VH) | (1 << WL) | (1 <<
WH);

// Введення PORTD для ШІМ на PD5.
DDRD |= (1 << PD5);

// Вхідний світлодіодний порт
LED_DDR |= (1<<LED_PIN);
LED_OFF;

// Порт кнопки введення
BTN_PORT |= (1<<BTN_PIN);
}

// Ініціалізує таймери
static void InitTimers(void)
{
    // Налаштування таймера / лічильника0 для ШІМ, вихід на OCR0B, OCR0A як ТОП
значення, прескалер = 1.
    TCCR0A = (0 << COM0A1) | (0 << COM0A0) | (1 << COM0B1) | (0 << COM0B0) | (0 <<
WGM01) | (1 << WGM00);
    TCCR0B = (1 << WGM02) | (0 << CS02) | (1 << CS01) | (0 << CS00);

```

```

    OCR0A = Motor.PWM_Top_Value;
    //TIFR0 = TIFR0;
    TIMSK0 = (0 << TOIE0);

// Налаштування таймера / лічильника1 для часу комутації, прескалер = 8.
    TCCR1B = (1 << CS11) | (0 << CS10);

// Налаштування таймера2
    TCCR2B = ((1<<CS22) | (0<<CS21) | (1<<CS20)); // prescaler = 128
    TIMSK2|=(1<<TOIE2);
}

// Ініціалізує масиви для керування двигуном та вибору каналу AD
static void MakeTables(void)
{
    if (Motor.Direction == CCW) {
        driveTable[0] = DRIVE_PATTERN_STEP1_CCW;
        driveTable[1] = DRIVE_PATTERN_STEP2_CCW;
        driveTable[2] = DRIVE_PATTERN_STEP3_CCW;
        driveTable[3] = DRIVE_PATTERN_STEP4_CCW;
        driveTable[4] = DRIVE_PATTERN_STEP5_CCW;
        driveTable[5] = DRIVE_PATTERN_STEP6_CCW;
    }
    else {
        driveTable[0] = DRIVE_PATTERN_STEP4_CW;
        driveTable[1] = DRIVE_PATTERN_STEP3_CW;
        driveTable[2] = DRIVE_PATTERN_STEP2_CW;
        driveTable[3] = DRIVE_PATTERN_STEP1_CW;
        driveTable[4] = DRIVE_PATTERN_STEP6_CW;
        driveTable[5] = DRIVE_PATTERN_STEP5_CW;
    }
}

// Встановить значення порту, використовуючи мертвий час
static void SET_DRIVE_PORT(unsigned char DrivePattern) {
    char i;

    DRIVE_PORT = (DRIVE_PORT && DrivePattern);

    for (i=0; i<Settings.DeadTime; i++) {
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");

        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
        asm("nop");
    }

    DRIVE_PORT = DrivePattern;
}

// ПЕРЕДАЧА ДАНИХ

```



```

int tx(void)
{
    unsigned char i;
    unsigned char tx_crc = CRC_SEED;
    unsigned char rflags = 0x00;
    unsigned char temp;

    // заповнення даних про передачу даних
    tx_data[0] = START;
    tx_data[1] = IqA >> 8;
    tx_data[2] = IqA & 0xFF;
    tx_data[3] = IdA >> 8;
    tx_data[4] = IdA & 0xFF;
    tx_data[5] = IqU >> 8;
    tx_data[6] = IqU & 0xFF;
    tx_data[7] = IdU >> 8;
132
    tx_data[8] = IdU & 0xFF;
    tx_data[9] = aint_tx >> 8;
    tx_data[10] = aint_tx & 0xFF;
    tx_data[11] = uint_tx >> 8;
    tx_data[12] = uint_tx & 0xFF;
    tx_data[13] = amag;
    tx_data[14] = umag;
    tx_data[15] = aphase;
    tx_data[16] = uphase;
    tx_data[17] = voltage >> 2;
    tx_data[18] = temperature >> 2;
    tx_data[19] = accel >> 2;
    temp = (voltage & 0x03) << 4;
    temp |= (temperature & 0x03) << 2;
    temp |= (accel & 0x03);
    tx_data[20] = temp;

    // обчислення CRC (контрольна сума)
    for(i = 1; i <= 20; i++)
    {
        tx_crc = CRC8LUT[tx_data[i] ^ tx_crc];
    }
    tx_data[21] = tx_crc;

    for(i = 1; i <= 7; i++)
    {
        if(tx_data[i] == START)
        {
            tx_data[i] = ESC;
            rflags |= 0x01 << (i - 1);
        }
    }
    tx_data[22] = rflags;
    rflags = 0x00;
    for(i = 1; i <= 7; i++)
    {
        if(tx_data[7 + i] == START)
        {
            tx_data[7 + i] = ESC;
            rflags |= 0x01 << (i - 1);
        }
    }
    tx_data[23] = rflags;
    rflags = 0x00;
    for(i = 1; i <= 7; i++)

```

```

{
if(tx_data[14 + i] == START)
{
tx_data[14 + i] = ESC;
rflags |= 0x01 << (i - 1);
}
}
tx_data[24] = rflags;

// розпочати передачу
tx_i = 1;
UCA0TXBUF = START;

return 1;
// Встановлення значення порту за даними датчиків Холла
void SENSORS_ISR() {
    unsigned char position;
    unsigned char DrivePattern;
    position = (PINC&0x07);

    switch(position)
    {
        case 5: DrivePattern = driveTable[0]; break;
        case 1: DrivePattern = driveTable[1]; break;
        case 3: DrivePattern = driveTable[2]; break;
        case 2: DrivePattern = driveTable[3]; break;
        case 6: DrivePattern = driveTable[4]; break;
        case 4: DrivePattern = driveTable[5]; break;
        default: DrivePattern = 0; break;
    }

    SET_DRIVE_PORT(DrivePattern);
}

// Виконує послідовність запуску двигуна
static void StartMotor(void)
{
    Motor.Duty = Motor.PWM_Startup_Value;
    SET_PWM_COMPARE_VALUE(Motor.Duty);
    timeSinceCommutation = 0;
    Motor.Alert_Mode = ALERT_NULL;
    ENABLE_TIMER0_INT;
    SENSORS_ISR();
}

// Зупинка двигуна
static void StopMotor(void)
{
    FLAG_RUN = FALSE;
    DISABLE_DRIVING;
    DISABLE_ALL_TIMER0_INTS;
    Motor.Duty = 0;
    SET_PWM_COMPARE_VALUE(0);
    timeSinceCommutation = 0;
}

// Зупинить двигун і ввімкнить режим блимання світлодіодів
static void ALARMStopMotor(unsigned char mode)
{
    StopMotor();
    Set_LED_Mode(mode);
    while (adc_read(ADMUX_SPEED_REF) > Motor.Start_Ref) {

```

```

    }
    Delay(100); // Затримка після встановлення значення REF на нуль.
    Motor.Alert_Mode = 0;
    Set_LED_Mode(LED_MODE_ON);
}
// Переповнення таймера0
ISR(TIMERO_OVF_vect)
{
    if (ADMUXIndex == 0) {

currentVoltageADC = adc_read(ADMUX_CURRENT);
if (currentVoltageADC > Settings.Current_Max) {
StopMotor();
Motor.Alert_Mode = ALERT_CURRENT;
return;
}
FLAG_CurrentUpdated = TRUE;
}
if (ADMUXIndex == 1) {
speedReference = adc_read(ADMUX_SPEED_REF);
FLAG_RefUpdated = TRUE;
}

    if (ADMUXIndex == 2) {
        batteryVoltageADC = adc_read(ADMUX_BATTERY_VOLTAGE);
        if (batteryVoltageADC < Settings.Voltage_Min) {
            StopMotor();
            Motor.Alert_Mode = ALERT_VOLTAGE;
            return;
        }
        FLAG_VoltageUpdated = TRUE;
    }
    ADMUXIndex++;
    if (ADMUXIndex > 2) {
        ADMUXIndex = 0;
    }
}

// Переповнення таймера2
ISR(TIMER2_OVF_vect) {
    if (LED_Mode > 1) {
        LED_Counter++;
        if (LED_Enabled==TRUE) {
            if (LED_Counter > LED_ON_Time) {
                LED_OFF;
                LED_Enabled=FALSE;
                LED_Counter = 0;
            }
        }
        else {
            if (LED_Counter > LED_OFF_Time) {
                LED_ON;
                LED_Enabled=TRUE;
                LED_Counter = 0;
            }
        }
    }
}

// Переривання від датчиків Холла
ISR(PCINT1_vect) {
    unsigned int timeSinceCommutation;

```

```

SENSORS_ISR();

// Знайти час після останньої комутації
timeSinceCommutation = TCNT1;
TCNT1 = 0;

FLAG_SpeedUpdated = TRUE;
}
// Генерує затримку
void Delay(unsigned int delay)
{
    do
    {
        TCNT1 = 0xffff - 200;
// Дочекаємося переповнення таймера.
        while (!(TIFR1 & (1 << TOV1)))
        {

        }
    } while (delay--);
}

// Update
static void PWMControl(void)
{
    unsigned char duty;

    // Оновлювати робочий цикл лише в тому випадку, якщо було зроблено нове
    // контрольне вимірювання швидкості. (Зроблено відразу після того, як вимірювання
    // швидкості готове)
    if (FLAG_RefUpdated)
    {
        if (speedReference < Motor.Stop_Ref) {

            SET_PWM_COMPARE_VALUE(0);
            Motor.Duty = 0;

        }
        else {
            duty = (unsigned char) (Motor.PWM_Min_Value + speedReference *
            (Motor.PWM_Top_Value - Motor.PWM_Min_Value) / ADC_RESOLUTION);
            if (duty_damper_counter > Settings.DutyDamper) {
                if (duty > Motor.Duty) {
                    Motor.Duty++;
                }
                else {
                    Motor.Duty--;
                }
                duty_damper_counter = 0;
            }
            duty_damper_counter++;

            SET_PWM_COMPARE_VALUE(Motor.Duty);
        }
    }
    FLAG_RefUpdated = FALSE;
}

// Обчислює поточну швидкість в електричних об / хв
void CalculateSpeed()
{
    rotationPeriod = (unsigned long)timeSinceCommutation * 6 * Settings.Magnets;
}

```

```

        Motor.Speed = (TICKS_PER_MINUTE / rotationPeriod);
    }
    // Обчислює поточне споживання
    void CalculateCurrent()
    {
        Motor.Current = abs((int)(currentVoltageADC) - 127) * 1;
    }
    // Розрахуємо напругу акумулятора
    void CalculateVoltage()
    {
        Motor.Voltage = (unsigned int)((EXTERNAL_REF_VOLTAGE/10 * (unsigned
long)batteryVoltageADC * (RESISTOR_R1 + RESISTOR_R2)) / ADC_RESOLUTION) /
RESISTOR_R2;
    }

```

Додаток В

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет

РТПСАС 2020 RTPSAS

Міжнародна науково-технічна конференція
РАДІОТЕХНІЧНІ ПОЛЯ, СИГНАЛИ, АПАРАТИ ТА СИСТЕМИ

Матеріали конференції
16 – 22 листопада 2020
Київ, Україна

International
Scientific and Technical Conference
RADIOENGINEERING FIELDS, SIGNALS, DEVICES AND SYSTEMS

Conference Proceeding
November 16– 22, 2020
Kyiv, Ukraine

Київ — 2020

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. ТЕОРЕТИЧНА РАДІОТЕХНІКА.

Авдєєнко Г. Л. Формування телевізійного сигналу стандарту DVB -S2 з використанням SDR трансиверу NUAND BLADERF X40	12
Воловик А. Ю. Оптимальна фільтрація сигналів за умов апіорної траєкторної невизначеності	15
Воловик А. Ю. Формування різницевого сигналу в модельно-орієнтованих системах діагностики	18
Нікітчук А. В. Теплові процеси та надійність у блоці РЕА	21
Політанський Р.Л., Верига А.Д., Вістак М.В. Аналіз перспективних сигнальних конструкцій для формування каналних сигналів	24

СЕКЦІЯ 2. РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ТА МІКРОХВИЛЬОВА ТЕХНІКА

Bulashenko A.V., Piltyay S. I., Kalinichenko Ye. I. Post-iris waveguide polarizer	28
Gnatyuk M., Morozov V., Malyshko A., Chaiun M. An integral equation analysis of thick irises in waveguides of a phased array antenna	32
Piltyay S. I., Bulashenko A. V., Kushnir H. S. Microwave waveguide polarizer with 3 posts	35
Касапов Е. В., Ліпатов В. П., Марков В. І., Остапенко Д. А. Налаштування та проведення випробувань складних антенних систем	39
Кубай В. С., Зінковський Ю. Ф. Електромагнітна сумісність системи автоматизації і управління будинками KNX	42
Мельник Т. Й., Сушко О. Ю. Лінза Ротмана Ku-діапазону із 4-ма вихідними портами	46
Пятін І. С., Бойко Ю. М. Аналіз енергетичної ефективності LDPC-кодів широкосмугових телекомунікацій технології 5G	49

СЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРОНІКА, НАНОТЕХНОЛОГІЇ, БІОМЕДИЧНІ СИСТЕМИ, РАДІОВИМІРЮВАННЯ.

Арсенюк Д. О., Зіньковський Ю. Ф. Характеристики нітрид галієвих транзисторів у безмостовому коректорі коефіцієнта потужності Totem Pole PFC	130
Артеменко М. Ю., Петров Д. О. Енергетичні властивості двополюсної схеми заміщення електричного кола постійного струму, еквівалентної за потужністю	133
Барило Г. І., Голяка Р. Л., Готра З. Ю., Гельжинський І. І. Синтез SPICE макромоделі керування широтно-імпульсним модулятором	136
Барило Г. І., Микитюк З. М., Вісьтак М. В., Кремер І. П., Івах М. С. Мікропроцесорна система для контролю концентрації пари ацетону	139
Биткін С. В., Критська Т. В. Нелінійна зміна h_{21E} рpn-структур з діелектричною ізоляцією, виготовлених на SiGe з різною концентрацією ізовалентної домішки	142
Богомолів М. Ф., Орець Є. А. Комбінований оптоакустoeлектронний біомедичний стимулятор	145
Богомолів М. Ф., Троць А. А. Розробка екологічного джерела живлення для радіoeлектронних пристроїв	148
Бурковський Я. Ю., Зіньковський Ю. Ф. Моделювання мережевого коректора коефіцієнта потужності (PFC) з використанням карбід кремнієвих (SiC) силових транзисторів	151
Головня В. М., Зіньковський Ю. Ф. Електродинамічний механізм взаємодії випромінювання з частинками	154
Данилець М. О., Богомолів М. Ф. Універсальний діагностично-лікувальний пристрій для офтальмології	159
Демченко С. О. Розробка контролера для управління двигуном електричного скутера з передачею інформації на смартфон	162

РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРА ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО СКУТЕРА З ПЕРЕДАЧЕЮ ІНФОРМАЦІЇ НА СМАРТФОН

*Демченко С.О. студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна*

Вступ

Значне збільшення потреб населення в коротких подорожах по місту за останні роки на планеті призвело до швидкого збільшення кількості різних видів електротранспорту. В останні роки все більше популярність набувають BLDC[1-3] - Brushless DC electric motor (безколекторний електродвигун постійного струму) або ж електродвигуни трифазні безщітчні з датчиками Холла. Варто зазначити, що застосування подібних трифазних двигунів досить широко: побутова техніка, оргтехніка, електротранспорт, промисловість. Проте для запуску таких двигунів, регулювання швидкості їх обертання, і забезпечення контрольованої зупинки застосовуються пристрої, звані контролерами.

Контролер[4] - одна з головних складових частин безперебійної роботи електротранспорту; це електронний пристрій, що відповідає за роботу мотор-колеса і управляє ним. Контролер виконує функцію посередника між електромотором і рульовим керуванням, він забезпечує подачу струмів до електродвигуна і електричний комплект від акумуляторів. Принцип роботи контролера аналогічний мозкової діяльності. Спочатку контролер сприймає сигнал від електрообладнання, далі - аналізує прийняту інформацію, і в кінцевому підсумку забезпечує скоординовану роботу електро-системи відповідно до поставлених перед ним завданнями.

Огляд аналогів

Більшість контролерів для електротранспорту, представленню на ринку, - китайські. Вони хоч і відносно дешеві близько 700 грн залежно від потужності та функціоналу. Більшість із них мають формою вихідного сигналу прямокутної форми так званий меандр рис.1. Такі контролери дають можливість отримати трохи більшу швидкість обертання, ніж при використанні синусних, але за це доведеться розплачуватися підвищеним шумом двигуна, що виникає через мікрівібрації обмоток двигуна під дією сигналу такої форми.

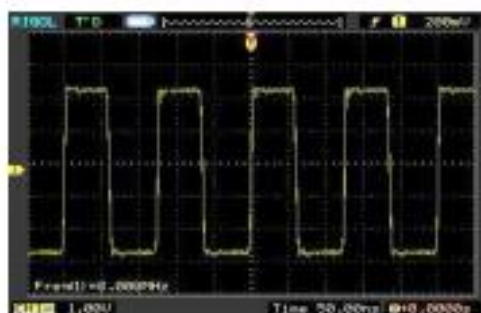


Рисунок 1. Вихідний сигнал дешевого контролера прямокутної форми

швидкості при такій же напрузі батареї. Встановлюються вони на надпотужний і дорогий електротранспорт. Але ціна у них кусається - 7-10 тис. грн.

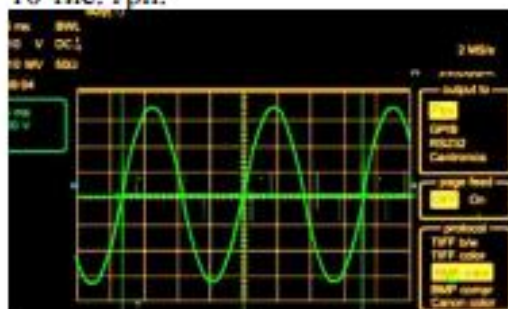


Рисунок 2. Вихідний сигнал дорогого контролера синусоїдальної форми

є декілька моментів які можна покращити для кращої роботи BLDC. По-перше розробити контролер на якісних компонентах, які будуть відпрацьовувати на свою заявлену потужність, не бути перегріватися, і ефективно використовувати акумуляторну батарею, що в свою чергу дозволить проїжджати на одному заряді більшу відстань.

Ще один момент - це додати розширений функціонал для контролера. Такий як: передача інформації про електродвигун та акумулятор бездротовим методом за допомогою bluetooth або Wi-Fi на сучасний смартфон. Що дасть можливість зменшити кількість проводів які виходять з керуючого приладу, а це в свою чергу зменшує можливість до виходу з строю контролера через механічні пошкодження цих же проводів. А також зручний інтерфейс для смартфона на якому можна буде виставити максимальну швидкість. Встановлювати круїз контроль що дозволить насолоджуватись прогулянкою на електротранспорті більш комфортною.

Ще однією із гарних функцій розробленого контролера буде можливість підключити два мотор-коліс. Що дозволить робити повнопривідні електросамокати чи електровелосипеди ікі дозволять їздити по будь якому дорожньому покриттю.

У той же час на ринку представлені європейські якісні контролери для електробайка. Вони оснащуються розширеними функціями, працюють на різних напругах і струмах, на виході вони мають синусоїдальний сигнал рис.2 і їх можна програмувати. При використанні синусового контролера ви будете насолоджуватися тишею, але трохи втратите в максимальній

Результати дослідження

Всі контролери які представлені на ринку є невідомою коробкою, в якій невідомо що відбувається. І відразу до неї виникає дуже багато питань - економічно вона споживає і розподіляє струм, який у неї запас потужності, чому так сильно перегрівается, чи правильно спрацьовує захист по струму. В свою чергу

Висновки

Якщо підсумувати сказане вище, то очевидно, що кількість електро транспорту зростає. Проте кількість якісних контролерів дуже маленька. Все більше і більше китайських брендів роблять однакові коробочки які не здатні видавати заявлені характеристики, та не мають гарного функціоналу, який дозволить зручно використовувати електротранспорт.

Перелік посилань

1. [Основи безщіткового двигуна постійного струму](http://www1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00885a.pdf) від Microchi. Режим доступу: <http://www1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00885a.pdf>
2. [3-фазний BLDC управління електродвигунів з датчиками Холла від Freescale](https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN1916.pdf). Режим доступу: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN1916.pdf>
3. [Sang-Hoon Kim](#). Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors 1st Edition./ [Sang-Hoon Kim](#). Elsevier Science 2017.-438с
4. Hazrimi Bin Omar. **Design of Driver Brushless Direct Current Motor(BLDC)**. / Hazrimi Bin Omar. Fakulti Kejuruteraan Elektrik 2005-25с

Анотація

У розглянутій статті проведено аналіз існуючих наданий момент контролерів для BLDC, та їхні функціональні можливості. Досліджено можливість покращення та розширення функціоналу даних контролерів. Сьогодні питання про спосіб переміщення по місту та способи економії коштів за рахунок використання електротранспорту дуже актуальне. Інноваційний підхід забезпечує високоефективну роботу електродвигунів, якісний контроль за його роботою а також оперативне інформування в разі несправності.

Ключові слова: контролер, BLDC, смартфон, бездротовий метод, електротранспорт.

Annotation

In the considered article the analysis of the existing given controllers for BLDC, and their functionality is carried out. The possibility of improving and expanding the functionality of these controllers has been investigated. Today, the question of how to move around the city and ways to save money through the use of electric vehicles is very relevant. The innovative approach provides highly efficient operation of electric motors, quality control over its operation, as well as prompt information in case of failure.

Keywords: controller, BLDC, smartphone, wireless method, electric transport.